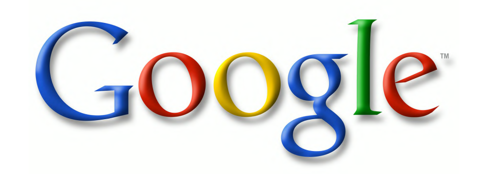
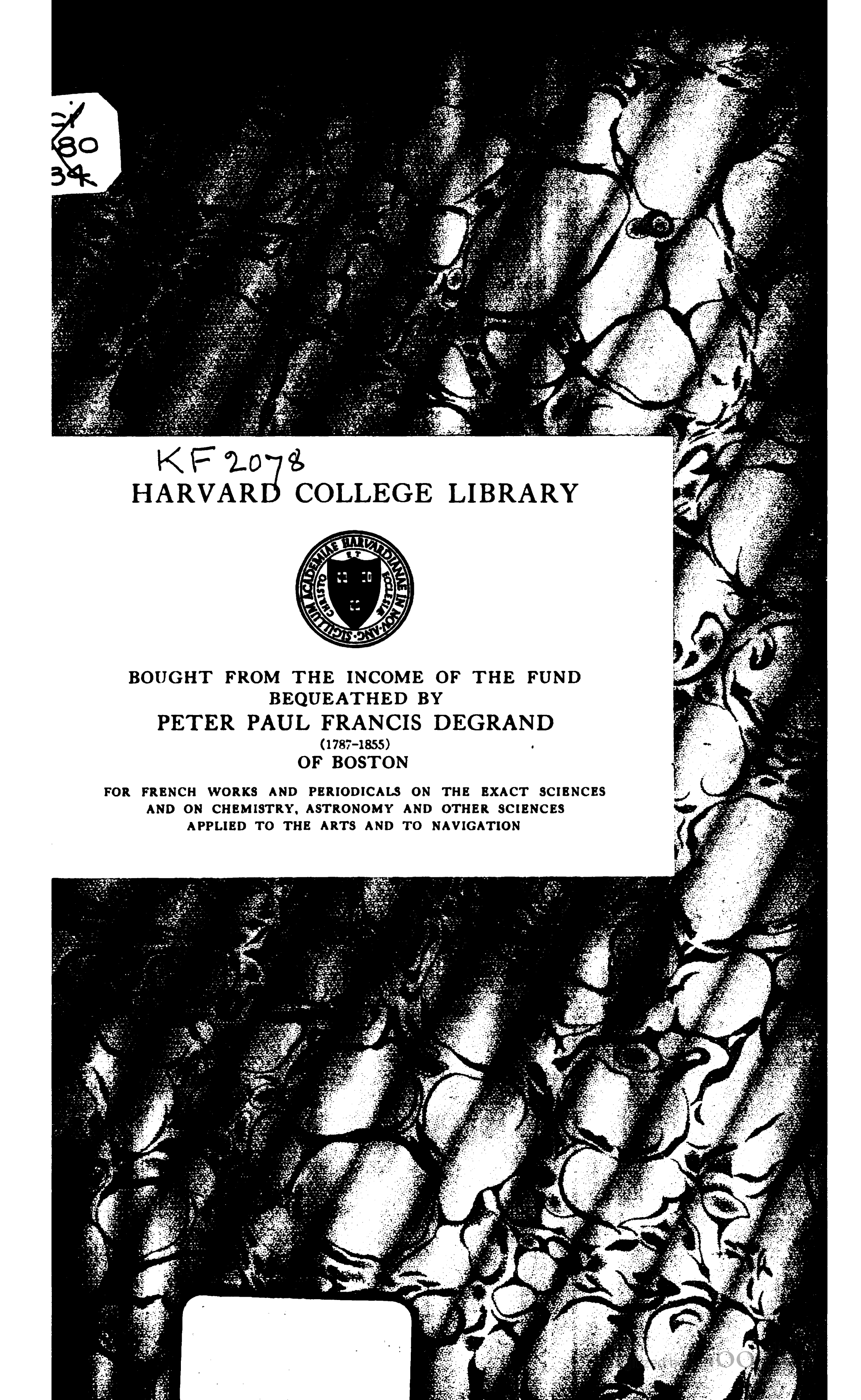






SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les Discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le Bulletin.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860.

ANNÉE 1875

SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ

10, CITÉ ROUGEMONT, 10

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

RUE DES SAINTS-PÈRES, 54.

1875

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES

1875

Membres du Bureau.

Président :

M. Lavalley, O. ✱ ✠, rue Murillo, 18.

Vice-Présidents :

MM. Mathias (Félix), ✱ O. ✱ ✱ ✠ ✱, rue de Dunkerque, 20.
De Dion (Henri), O. ✱, rue de Moscou, 28.
Richard (Jean-Louis) ✱, rue Billault, 31.
Desgrange, ✱ C. ✠ ✱ ✱, boulevard Haussmann, 135.

Secrétaires :

MM. Tresca (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
Mallet (Anatole), rue Blanche, 80.
Badois (Edmond), rue de Clichy, 39.
Morandière (Jules), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.

Trésorier :

M. Loustau (G.) ✱ ✱ ✠ ✱, rue de Dunkerque, 20.

Membres du Comité.

MM. Jordan (Samson) ✱, rue de Bruxelles, 15.
Alcan (Michel) ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 98.
Forquenot (Victor) ✱, boulevard Saint-Michel, 24.
Yvon-Villarceau ✱ ✱ ✠, avenue de l'Observatoire, 18.
Callon (Charles) ✱, rue de Birague, 16.
Molinos (Léon) ✱, rue de Châteaudun, 2.
Demimuid (René), rue de Rennes, 65.

MM. Brüll (Achille), rue de Bruxelles, 44.
Vée (Léonce), rue de Rome, 61.
Marché (Ernest), rue Neuve-Fontaine-Saint-Georges, 4.
Caillaux (Alfred), rue Saint-Jacques, 240.
Muller (Émile) ✻, rue des Martyrs, 19.
Daguin (Ernest), O. ✻, rue de Castellane, 4.
Dupuy (Léopold), rue de Flandre, 108.
Barrault (Émile), boulevard Saint-Martin, 17.
Chabrier (Ernest) ✻, avenue du Coq, 4.
Ronna (Antoine) ✻ ✻ ✻, boulevard Haussmann, 25.
Farcot (Joseph) ✻, au port Saint-Ouen.
Salvetat (Alphonse) ✻ ✻ ✻, à Sèvres (Manufacture nationale).
Dallot (Auguste) ✻, rue d'Amsterdam, 85.

Présidents honoraires.

MM. Morin (le général), G. C. ✻ ✻ ✻ ✻, directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, rue Saint-Martin, 292.
Tresca (Henri), O. ✻ ✠ ✻ ✻, sous-directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, rue Saint-Martin, 292.
Vuillemin (Louis), ✻ O. ✻ ✠ ✻, rue de Vigny, 1.

Membres honoraires.

MM. Dumas, G. C. ✻, membre de l'Institut, rue Saint-Dominique, 69.
Engerth (Guillaume), le chevalier C. ✻ ✻ ✠ ✻, conseiller aulique, sénateur, directeur-adjoint de la Société autrichienne Impériale et Royale des chemins de fer de l'État, à Vienne (Autriche).
Reymond Rossiter, W. C. E. Esq. president of the American Institute of Mining Engineers, 27, Park place (New-York).
Sella Quintius (le commandeur), ingénieur en chef au corps des mines, député au Parlement, à Rome (Italie).
Hawkshaw (sir John) (le chevalier), 33, Great-George-Street-Westminster, Londres (Angleterre).

Membres sociétaires.

A

MM. Aboilard (François-Auguste-Théodore), à Corbeil (Seine-et-Oise).
Achard (François-Ferdinand), rue de Provence, 60.
Adcock (François-Louis), rue de Berry, 17, au Havre (Seine-Inférieure).
Agnès (Antony), C. ✱, boulevard Beaumarchais, 7.
Agudio (Thomas) ✱, rue de l'Arsenal, 17, à Turin (Italie).
Aivas (Michel), O. ✱ ✱, à Suez (Égypte).
Albaret (Auguste) ✱, constructeur de machines agricoles, à Liancourt (Oise).
Albaret (Eugène), rue Legendre, 43 (Batignolles).
Alby (Joseph) ✱, chef de division de l'entretien du chemin de fer de la haute Italie, à Turin (Italie).
Alcan (Michel) ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 98.
Allaire (Théodore-Émile), chimiste, rue Rivay, 20, à Levallois.
Alquié (Auguste-François) ✱, rue de Maubeuge, 81.
Alziari de Malaussène (François), inspecteur de l'exploitation au chemin de fer du Nord, rue de Condé, 16, à Clermont (Oise).
Ameline (Auguste-Eugène), rue Truffaut, 52, à Batignolles.
André (Gaspard-Louis), boulevard de Port-Royal, 83.
André (Charles-Henri), rue du Manége, 10, à Nancy (Meurthe).
Andry ✱, à Boussu, près Mons (Belgique).
Angevère (Marcel-Jules), hôtel de l'Europe, à Pest (Hongrie).
Ansaloni-Amilcar (Jean-Antoine), à Pest (Hongrie).
Ansart (Ernest), professeur à l'Institut de Santiago (Chili).
Appert (Léon), produits vitrifiés, rue de l'Ourcq, 59, à la Villette.
Aquin (d') (Thomas), directeur des forges de Moyeuvre (Alsace-Lorraine).
Arbulu (de) (José Maria), rue de la Silhouette, 22, à Biarritz (Basses-Pyrénées).
Arcangues (d') (Paul-Eugène ✱, rue de Dunkerque, 18.
Armengaud aîné ✱, rue Saint-Sébastien, 45.
Armengaud aîné fils (Charles-Eugène), rue Saint-Sébastien, 45.
Armengaud jeune ✱, boulevard de Strasbourg, 23.
Armengaud jeune fils (Jules-Alexis), boulevard de Strasbourg, 23.
Arnoldi (Jules), à Pest (Hongrie).
Arson (Alexandre) ✱, rue de Bourgogne, 40.

MM. ARTUS (Jules), boulevard Beaumarchais, 20.
ASSELIN (Eugène), chimiste, rue des Poissonniers, 3 (Saint-Denis).
AUDEMAR (Henri), à Dôle (Jura).
AUDERUT (Francisque-Henri), ingénieur, chez MM. Petin et Gaudet, à Saint-Chamond (Loire).
AYLMER (John), rue de Naples, 4.

B

MM. BADOIS (Edmond), rue de Clichy, 39.
BAILLET (Gustave), rue de Villiers, 22, aux Ternes.
BALESTRINI, pavillon de Rohan, rue de Rivoli.
BANCILHON (Émile), ingénieur aux mines de Mœsi, Sicile (Italie).
BANDERALI, O. ✠, rue de Navarin, 16.
BANDHOLTZ (Frédéric), chef de section au chemin de fer des Charentes, à Blaye (Gironde).
BARA, rue de Magenta, 17, à Pantin.
BARBAROUX (Marie-Ferdinand-Auguste), avenue de Madrid, 13, à Neuilly.
BARBE (Paul), maître de forges, villa Montmorency, place du Square, 4, à Auteuil.
BARBEROT (Félix), ✠ C. ✠, avenue de Clichy, 19, à Batignolles.
BARBIER (Ernest), directeur de la fabrique de caoutchouc de Grenelle, rue de Laval, 9.
BARNES (Edmond) ✠, the Pentewan Railway and Harbour Company (limited), Engineers Office. (Saint Austell, Cornwall (Angleterre).
BARNOYA (Luis), ingénieur-mécanicien de la division de Ferro-Carriles Fonda Peninsular, à Barcelona (Espagne).
BARRAULT (Émile), boulevard Saint-Martin, 17.
BARRÉ (Frédéric-Henri), chef de section, service de la voie du chemin de fer du Nord, à Saint-Quentin (Aisne).
BARRE (Raoul-Eugène), rue Singer, 2, à Passy.
BARRE (Charles-Armand-Athanase), ingénieur de la Société des hauts fourneaux et fonderie de Brousseval, boulevard de Strasbourg, 50.
BARROS BARRETO (de) Manuel, ingénieur en chef du contrôle du chemin de fer de Récife à San Francisco, à Pernambuco (Brésil).
BARROUX (Léon) ✠, à Troyes (Aube).
BARTHÉLEMY (Henry), architecte, quai Voltaire, 3.
BASSET (André-Louis), rue d'Aumale, 10.
BATTAILLE STRAATMAN (Jean), rue Royale, 135, à Bruxelles (Belgique).
BATTAREL (Pierre-Ernest), rue de Cambrai, 3, à la Villette.

MM. Baudet (Louis-Constant-Émile), rue du Rocher, 64.
Baudouin ⁂, palazzo Maddaloni, à Naples (Italie).
Baumal (Henri) ⁂, rue de Londres, 51.
Bauquel (François-Auguste), à Cirey (Meurthe).
Bayvet (Gustave), boulevard Haussmann, 82.
Bazaine (Achille-Georges), rue de Bruxelles, 42.
Beaucerf ⁂, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Beauchamp (Émile-Laurent-Marie), O. ⁂, rue Corvetto, 2.
Beaumetz-Dujardin (François-Paul-J.), à Montmorillon (Vienne).
Beaupré (Eugène), directeur de la compagnie Linière, à Pont-Rémy (Somme).
Beaussobre (de) (Georges-Emmanuel), à Reims (Marne).
Bélanger (Charles-Eugène) G. ✱ ⁂, rue de Bourgogne, 40.
Béliard (Georges-Alfred), directeur de l'atelier de M. Decauville, à Petit-Bourg, par Évry (Seine-et-Oise).
Bélin (Pierre-Ernest), rue de Boulogne, 31.
Bellet (Henri-Nicolas), au chemin de fer du Nord belge, à Charleroi (Belgique).
Belleville (Julien-François) ⁂, constructeur, avenue Trudaine, 16.
Bellier (Adolphe) ⁂ ✱, chef de la division centrale au chemin de fer du Midi, cours d'Alsace-et-Lorraine, 101, à Bordeaux (Gironde).
Belpaire (Alfred), ingénieur en chef à Bruxelles (Belgique).
Bénédic-Fribourg (Henri-Georges), avenue Niel, 14.
Benoit (René), ingénieur chez MM. Rattier et Compagnie, à Bezons (Seine-et-Oise).
Benoit-Duportail (Armand-Camille) ⁂, rue Lacondamine, 100.
Berendorf (Joseph), constructeur, avenue d'Italie, 75.
Berenger (Jean-Alexandre), 11, Tarlsgosse, à Vienne (Autriche).
Berger (Jean-Georges), chez M. André, à Thann (Alsace).
Bergeron, rue de Penthièvre, 26.
Bernard, ingénieur de la voie au chemin du fer du Nord, à Namur (Belgique).
Bertheault (William), directeur des forges de Montataire (Oise).
Berthier (Camille), fabricant de tuiles et briques, à La Ferté-Saint-Aubin (Loiret).
Berthot (Pierre), à la papeterie du Pont-de-Seychal, à Thiers (Puy-de-Dôme).
Berton (Albert), à l'hôtel de ville de Melun (Seine-et-Marne).
Berton (Théodore), rue Saint-Martin, 30, à Versailles (Seine-et-Oise).
Bertrand (Alfred-Pierre-Joseph), filateur, à Cambrai (Nord).
Bertrand (Charles-Pierre), boulevard Beaumarchais, 69.
Bertrand (Gustave), expert pour les compagnies d'assurances, rue Bonaparte, 82.

MM. Béthouart (Alfred-Auguste), à Chartres (Eure-et-Loir).
Beudin (Gustave), Chaussée d'Antin, 66.
Beugniot (Jean) ✻ ✻, associé de la maison Kœchlin, à Mulhouse (Alsace).
Bévan de Massy (Henri), C. ✻ C. ✠, rue Lavoisier, 5.
Bianchi ✻ ✻, rue de Rennes, 154.
Bidou (Léon-Auguste-Clément), directeur général des hauts fourneaux du Prieuré, à Longwy (Meurthe-et-Moselle).
Billieux (J.-Achille) ✻, rue de la Condamine, 1.
Binder (Charles-Jules) ✻, boulevard Haussmann, 170.
Bippert, rue des Petites-Écuries, 42.
Birlé (Albert), directeur de la Société de touage de la Moskowa, à Moscou (Russie).
Biver (Hector) ✻, rue du Cherche-Midi, 21.
Biver (Pierre-Ernest-Dominique), rue de la Darse, 10, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Bixio (Maurice), quai Voltaire, 17.
Blake (David) ✻, à Dieppe (Seine-Inférieure).
Blanche (Auguste), quai National, 3, à Puteaux.
Blanco (Juan-Maria), plaza de San-Francisco, 3, à San Lucar de Banameda (Espagne).
Blanco Sanches (Joaquin), C. ✻ ✻, ingénieur des ponts et chaussées, à Santander (Espagne).
Blanleuil (Jean-Victor), entrepreneur de travaux publics, à Angoulême (Charente).
Blard (Alexandre-Louis), rue de Rivoli, 226.
Bleynie (Martin), rue de Lyon, 20.
Blétry (Alphonse-Edmond), office des Brevets d'invention, rue des Filles-du-Calvaire, 6.
Blétry (Constant-Pierre-Alexandre), office des Brevets d'invention, rue des Filles-du-Calvaire, 6.
Blonay (de) (Henri), ingénieur consultant, à Lausanne (Suisse).
Blondeau (Paul-François), avenue des Amandiers, 10.
Blondel (Henri-Auguste-Adrien), rue de Vintimille, 2.
Blot (Léon), boulevard des Batignolles, 29.
Bobin (Hippolyte), rue de Châteaudun, 42.
Bodin (Paul-Joseph), avenue de Clichy, 176.
Boire (Émile), constructeur pour sucrerie et distillerie, quai de la Haute-Deule, 25 et 27, à Lille (Nord).
Boischevalier (Paul-Eugène), rue Montalivet, 10.
Boistel (Louis-Charles-Georges), représentant de la maison Siemens, rue de Châteaudun, 11.
Boivin (Émile), raffineur, rue de Flandre, 145, à la Villette.
Bonnard (de) (Gaëtan-Arthur), boulevard de Magenta, 109.

MM. Bonnardel (Barthélemy-Antoine), aux forges de Montataire (Oise).

Bonnaterre (Joseph), rue Sainte-Anne, 22.

Bonnet (Désiré), constructeur de machines, à Toulouse (Haute-Garonne).

Bonnet (Édouard), O. ✱, ingénieur en chef de the Fron Bridges, maintenance companie, à Bucharest (Roumanie).

Bonneville (Paul-Armand-Joseph), rue Albouy, 25.

Bonneville (de) (Marie-Joseph), ingénieur de la fonderie de Terre-Noire (Loire).

Bonnin (René), agent-voyer en chef, à Évreux (Eure).

Bontemps (Georges), rue de Lille, 11.

Bornèque (Pierre-Constant-Eugène) ✱, ingénieur, chez MM. Japy frères, à Beaucourt (Haut-Rhin).

Bossi (de) (Édouard), à Altorf, canton d'Uri (Suisse).

Boubée (F.-Charles-Paul), strada S. Chiara, 2, à Naples (Italie).

Boucard (Alexandre-André), rue d'Antin, 14.

Bouchotte (Émile-Simon), minotier, place Saint-Michel, 6.

Boudard (Casimir), inspecteur des usines de Dangu, ingénieur de la Société des usines à gaz, E. Melon de Pradou, G. Lecoq et Cie, rue de Douai, 43.

Boudard (Félix-Arthur), rue Perronet, 7.

Bougère (Laurent), à Angers (Maine-et-Loire).

Bouhey (Étienne), constructeur, avenue Daumesnil, 43.

Bouilhet (Henri-Charles) ✱, rue de Bondy, 56.

Bouissou (Amable-Louis), rue Montrosier, 7, à Neuilly.

Boulet (Jean-Baptiste), faubourg Poissonnière, 144.

Boulogne (Jules-Ernest), quai de la Seine, à Saint-Denis.

Bouquet (Ferdinand), rue Vinture, 8, à Marseille (Bouches-du-Rhône.

Bourcard (Henri), à Guebwiller (Alsace).

Bourdais (Jules) ✱, rue Laffitte, 51.

Bourdin (Gabriel-Jules-Amédée), métallurgiste, rue Mozart, 11, à Auteuil.

Bourdon (Eugène) ✱, constructeur-mécanicien, rue du Faubourg-du-Temple, 74.

Bourdon (Édouard-François), constructeur-mécanicien, faubourg du Temple, 74.

Bourdon (Alexandre-Charles), Société de constructions navales, quai Colbert, 73, au Havre (Seine-Inférieure).

Bourgeat (Alphonse), architecte de la ville, rue Martron, 1, à Rochefort-sur-Mer (Charente-Inférieure).

Bourgougnon (Étienne), rue de la Victoire, 43.

Bourgougnon (René), rue Lemercier, 44 (Batignolles).

MM. Bourset (Louis-Désiré), architecte, rue Saint-Genès, 208, à Bordeaux (Gironde).
Boutmy (Gabriel-François) ✻, rue Jean-Lantier, 4.
Bouvard (Paul-Marie), au Creusot (Saône-et-Loire).
Bracquemont (de) (Adrien) ✻, boulevard Malesherbes, 19.
Branville (de) (Paul), rue Oberkampf, 74.
Brauer (François-Charles), à Graffenstaden (Alsace).
Brault (Alexandre) ✻, rue de Bonneval, à Chartres (Eure-et-Loir).
Bréguet ✻, horloger, quai de l'Horloge, 39.
Breton (Étienne), chef de section à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, à Bar-sur-Aube (Aube).
Brialmont, aux établissements de M. John Cockerill, à Seraing (Belgique).
Bricogne (Charles) ✻, rue du Faubourg-Poissonnière, 33.
Bridel (Gustave), directeur de la correction des eaux, à Bienne (Suisse).
Brocchi (Astère), directeur de la maison Périn, fabricant de scies, avenue d'Ivry, 19.
Brodard (Marie-Anatole-Octave), rue du Bac, 94.
Bronne (Joseph), papetier, rue Joubert, 29.
Bronne (Louis), industriel, rue Grétry, 28, à Liége (Belgique).
Brossard (Louis-Henri-Maurice), inspecteur du matériel fixe au chemin de fer de Lyon, boulevard Beaumarchais, 15.
Bruère, à Signy-le-Petit (Ardennes).
Bruignac (Duroy de) (Albert), rue Saint-Antoine, 9, à Versailles (Seine-et-Oise).
Brüll (Achille), rue de Bruxelles, 44.
Brunon (Barthélemy), constructeur, à Rive-de-Gier (Loire).
Brunt (John), rue Pétrelle, 15.
Brustlein (H.-Aimé), à Unieux (Loire).
Buddicom ✻, Penbedw-Mold flinstshire (Angleterre).
Bukaty (Brodislas), ingénieur au chemin de fer de Roumanie, à Bucharest.
Bullot (Edmond), rue de la Gare, 12, à Saint-Denis.
Bulot (Hippolyte), rue Demidoff, 40, au Havre (Seine-Inférieure).
Bunel (Henri) rue du Conservatoire, 13.
Buquet (Hippolyte-Amédée), gérant de la *Revue industrielle*, rue Saint-Georges, 52.
Bureau, rue de Moscou, 29.
Burel (Eugène), rue Baudin, 22.
Buron (Oscar-Gabriel), rue de l'Odéon, 20.
Busschop (Emile), à Villeneuve-Saint-Georges (Seine-et-Oise).

C

MM. Cabanes (Félix), rue Leconte, 1.
Cabany (Armand), constructeur, à Gand (Belgique).
Cachelièvre (Charles-Paul-Émile), à Badajoz (Espagne).
Cadiat (Ernest), rue Bonaparte, 30.
Cail (Émile), avenue de l'Empereur, 121.
Caillaux (Alfred-Adrien-Hippolyte), rue Saint-Jacques, 240.
Caillé (Jules-Charles), inspecteur du matériel fixe au chemin de fer d'Orléans, rue Guy-de-la-Brosse, 11.
Caillet ✠, rue Tronchet, 9.
Caillot-Pinart ✠, rue du Faubourg-Saint-Martin, 140.
Caisso (Marin), ingénieur des ateliers du chemin de fer de l'Ouest, à Rennes (Ille-et-Vilaine).
Calabre (Sébastien), rue d'Orsel, 50, à Montmartre.
Caldaya (Charles-Antony), chez MM. Harel et Cie, à Givors (Rhône).
Calla (Christophe) ✠, rue des Marronniers, 8, à Passy.
Calleja (Joseph-Antoine), chef du service de la voie au chemin de fer, à Ciudad-Real, province de Badajoz (Espagne).
Calleja (Henri), à Ciudad-Real (Espagne).
Callon (Charles) ✠, rue de Birague, 16.
Capdevielle, rue de la Gare, 2, à Saint-Denis.
Capuccio (Gaetano), à Turin (Piémont).
Carcuac (Armand-Jean-Antoine), à Aubin (Aveyron).
Carimantrand (Jules), rue Mosnier, 15.
Carpentier (Léon), rue de Fleurus, 37.
Carron (Pierre-Joseph-Charles), à Lavoulte (Ardèche).
Cartier (Émile), fabricant de sucre, à Nassandres (Eure).
Cassagnes (Gilbert-Alfred), directeur des *Annales industrielles*, rue Lafayette, 18.
Casalonga (Dominique-Antoine), rue des Halles, 19.
Castel (Émile), ✠ O. ✠, rue de Dunkerque, 20.
Cauvet (Alcide) ✠, rue Neuve-des-Mathurins, 73.
Cazalis de Fondouce (Paul) ✠ ✠ ✠, propriétaire agricole, rue des Étuves, 18, à Montpellier (Hérault).
Cazes (Edwards-Adrien), rue Prony, 20.
Cernuschi, avenue Velasquez, 7.
Chabrier (Ernest) ✠, rue Saint-Lazare, 89 (avenue du Coq, 4).
Chalain (Prosper-Édouard), rue du Faubourg-Saint-Martin, 171.

MM. Chaligny (Gabriel-Joseph), rue Philippe-de-Girard, 54.
Champion (Paul) ✻, chimiste, rue de Turin, 7.
Championnière, à Montignon, près Montmorency (Seine-et-Oise).
Champouillon ✻, place Vendôme, 12.
Chancerel (Charles-Antoine), rue Béranger, 21.
Chaper ✻, rue de Londres, 4.
Chapman (Henri), rue Louis-le-Grand, 11, et 113, Victoria street Westminster S. W., London.
Chapron (Laurence-Louis-Achille), architecte, chez M. Manuel de Arana, directeur de la Quinta normal de Agricultura, à Santiago (Chili).
Charbonnier (Amédée-Pierre), au Creusot (Saône-et-Loire).
Chardon (Eugène-Frédéric), rue du Faubourg-Saint-Martin, 235.
Charlier (Timothée), chef du contrôle des chemins de fer de Roumanie et inspecteur général des ponts et chaussées, 163, rue Mogosoi, à Bucharest (Roumanie).
Charlon (Claude-Émile), ingénieur de la Compagnie des asphaltes, rue Sala, 33, à Lyon (Rhône).
Charpentier (Joseph-Ferdinand), rue Perdonnet, 13.
Charpentier (Paul-Ferdinand, métallurgiste, boulevard de Clichy, 6.
Charton (Jules-Jean), ingénieur de la construction aux chemins de fer du Midi, rue d'Argenson, 1.
Chatard (Alfred), rue de Rome, 47.
Chauveau des Roches (Arthur) ✻, O. ✻, à Masseuil-Quinçay, par Vouillé (Vienne).
Chauveau (Jules-Édouard), directeur des fonderies de Torteron (Cher).
Chauvel (Émile), à Navarre, par Évreux (Eure).
Chéron (Charles-Louis), régisseur de l'usine à gaz de Boulogne-sur-Seine, route de Versailles, 196 (Seine).
Chevandier de Valdrome (Eugène-Jean) ✻, rue de l'Arcade, 19.
Chobbzynski (Jean-Pierre-Charles) ✻ ✻, boulevard de Magenta, 139.
Cholet (Lucien-Alfred), ingénieur du matériel fixe du chemin de fer d'Orléans à Châlons, rue Saint-Gilles, 14.
Chopin (Nicolas-Philippe), chef du service de la construction de la ligne de Saintes à Coutras, avenue de Paris, 133, à Bordeaux (Gironde).
Chrétien (Jean), rue de Monceau, 87.
Chuwab (Charles), rue Nollet, 71.
Ckiandi (Alexandre-Henri), chimiste, rue des Templiers, 25, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Clair (Alexandre), C ✠ O ✠, rue Duroc, 5.
Claparède (Frédéric-Moyse) ✻, à Saint-Denis (Seine).

MM. Clémandot (Louis) ✻, 18, rue Brochant (Batignolles).
Clemencin (Perfecto Maria), ingénieur des mines, à l'École des mines, à Madrid (Espagne).
Clément-Desormes, quai Castellane, 20, à Lyon (Rhône).
Clervaux (de) (Paul), boulevard Saint-Aignan, 2, à Nantes, (Loire-Inférieure).
Closson (Prosper), avenue Trudaine, 29.
Coignet (François), rue de Berri, 22.
Colladon ✻, boulevard du Pin, 1, à Genève (Suisse).
Collet (Charles-Henri), rue d'Astorg, 4 *bis*.
Collin (Émile-Charles), fabricant de produits chimiques pour cristallerie, rue Quincampoix, 15.
Colson (Paul) ✠, à Ans (Belgique).
Comte (Charles-Adolphe), rue de la Victoire, 59.
Conchon (Eugène-Gabriel), architecte, rue Nollet, 28.
Consolat, boulevard Malesherbes, 68.
Constant (Arthur), directeur des forges de Saint-Eyries (Dordogne).
Contamin (Victor), boulevard de Magenta, 2.
Coquerel (Paul), boulevard des Batignolles, 22.
Corbin (Henri-Adolphe), boulevard Malesherbes, 99.
Cornaille (Alfred), constructeur, à Cambrai (Nord).
Cornuault (Émile-Lion-Félix), métallurgiste, rue Bonaparte, 30.
Corpet (Lucien), constructeur-mécanicien, avenue Philippe-Auguste, 117 et 119.
Cossigny-Charpentier (de) (Jules-François), à Courcelles, commune de Cléry, par Saint-Parres-les-Vandes (Aube).
Cosyns, à Couillet, par Charleroi (Belgique).
Cottard (Charles), place Vendôme, 12.
Cottrau (Alfred-Henri-Joseph), C. ✻ O. ✻ ✠, directeur de l'entreprise industrielle italienne de construction métallique, 228, via Toledo, à Naples (Italie).
Couard (Joseph-Félix), inspecteur de la voie des chemins de fer de Lyon, rue de Lyon, 20.
Coullaut (Alfred-Louis-Joseph), à Marchena, province de Séville (Espagne).
Coupan (René), boulevard de Magenta, 147.
Cournerie (Amédée-Barthélemy) ✻, rue de la Saline, 1, à Cherbourg (Manche).
Cournerie (Jean-Baptiste-Eugène-Georges), rue Hélain, 85, à Cherbourg (Manche).
Courras (Philippe), boulevard des Batignolles, 58.
Courtépée (Laurent), rue des Francs-Bourgeois, 31.
Courtès-Lapeyrat (Georges-Clément), boulevard Saint-Germain, 239.

MM. Courtier (Louis), rue de Dunkerque, 13.
Courtin (Amédée-Augustin), chef d'atelier du chemin de fer du Nord, rue de Passy, 97, à la Chapelle.
Courtines (Jacques) ✻, avenue du Chemin-de-Fer, à Rueil (Seine-et-Oise).
Courtois (Antoine-Hippolyte), ingénieur à l'arsenal Fou-Chéou (Chine).
Courtois (Marie-Émile), ✻, ingénieur de la Compagnie des Forges et Fonderies de Terre-Noire-Voulte et Bességes, rue Sainte-Hélène, 8, à Lyon (Rhône).
Couture (Jules), ingénieur adjoint à la direction des gaz et hauts fourneaux, rue de la Darse, 9, à Marseille (B.-du-R.).
Crampton, ✻, Victoria-Street, 4, Westminster S. W., Londres.
Crépin (Christian), à la sucrerie de Soulty, par Larbret (Pas-de-Calais).
Crespin (Auguste), boulevard de Clichy, 14.
Crespin (Arthur-Auguste), avenue Parmentier, 7.
Crétin (Gabriel) ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 237.
Crozet (Émile), à Valcherie, près le Chambon-Feugerolles (Loire).
Crozet (J.-C.), à Valcherie, près le Chambon-Feugerolles (Loire).
Cuinat (Charles), rue de Turin, 15.

D

MM. Daburon (Henri-Charles), ingénieur aux mines de Vicoigne, à Nœux-les-Mines (Pas-de-Calais).
Dagail (Louis), à Angoulême (Charente).
Daguerre d'Ospital (Léon), calle de Prado, 20, à Madrid (Espagne).
Daguin (Ernest), O. ✻, rue Castellane, 4.
Dailly (Gaspard-Adolphe), O. ✻, maître de la poste aux chevaux, rue Pigalle, 67.
Dallemagne (Jules), avenue Trudaine, 26.
Dallemagne (Émile), directeur des charbonnages de Sclessin-Tilleur, près Liége (Belgique).
Dallemagne (Jules), directeur des ateliers de la Société de Sclessin, près Liége (Belgique).
Dallot (Auguste) ✻, rue d'Amsterdam, 85.
Dambricourt (Auguste), à Vezernes, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Damoizeau (Victor-Jules), boulevard de la Contrescarpe, 36.
Darblay (Paul), à Corbeil (Seine-et-Oise).

MM. Daret-Derville (Ch.-Am.), chef du bureau central du matériel et de la traction aux chemins de fer du Nord de l'Espagne, calle Santiago, 59, à Valladolid (Espagne).

Daveluy (Marie-Alfred-Alphonse), attaché au service central de la voie au chemin de fer de Lyon, rue Saint-Antoine, 207.

David (Augustin), boulevard Magenta, 14.

Debarle (Louis), rue de l'Ourcq, 33, à la Villette.

Debié (Jules), quai des Grands-Augustins, 53.

Deby (Julien-Marie), rue de la Vanne, 21, à Bruxelles (Belgique).

Decaux (Charles-Auguste) ✻, rue Notre-Dame-des-Champs, 107.

Decescaud (Jean-Daniel), rue de Seine, 11.

De Coene (Jules) ✻, ingénieur divisionnaire au chemin de l'Ouest, rue du Champ-des-Oiseaux, 36, à Rouen (Seine-Inférieure).

Decomberousse (Charles), rue Blanche, 63.

Decoudun (Jules), constructeur mécanicien, rue de Montreuil, 77.

De Dion (Henri), O. ✻, rue de Moscou, 28.

Deffosse (Étienne-Alphonse), ingénieur de la construction, au chemin de fer de Lyon, rue de la Liberté, à Grenoble (Isère).

Degousée (Edmond) ✻, rue de Chabrol, 35.

D'Eichthal (Georges), directeur des forges et hauts fourneaux de Buglose, près Dax (Landes).

Dejey Jeanny, rue de la Perle, 18.

Delanney (Hippol.), O. ✻, agent-voyer en chef, au Mans (Sarthe).

Delannoy (François-Albert), ✻ C. ✻ ✠, rue de Paris, 106, à Charenton-le-Pont (Seine).

Delano (William-Henri), quai Valmy, 117.

Delaperrière (Marie-Antoine), ingénieur de la construction de la Compagnie du Croisic, à Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).

Delaporte (Georges) ✻, chimiste, rue des Bourdonnais, 37.

Delaporte (Charles-Antoine), filateur, à Maromme (Seine-Inf.).

Delaroyère (Ernest-Joseph), à Iwuy, près Cambrai (Nord).

Delattre, boulevard Voltaire, 63.

Delaunay (Jules-Henri) ✻ ✠, chef de section au chemin de fer des Charentes, à Limoges (Haute-Vienne).

Delaunay (Louis-Marie-Gabriel), rue du Port, 9, à Saint-Denis (Seine).

Delebecque ✻, rue de Douai, 6.

Delignères (Élie), fabricant de tubes en fer, à Montluçon (Allier).

Deligny (Ernest), O. ✻, rue François Ier, 18.

Delom (Florentin), rue Ramey, 49.

Delpech (Ferdinand), avenue de Clichy, 19.

Delsa (Hubert) ✻, constructeur, rue de la Limite, 18, à Liége (Belgique).

MM. Demanest (Edmond), rue de Berlin, 27.

Demans (Benoît-François-Noël), au Chambon-Feugerolles (Loire).

Demeule (Gustave) ✠, rue de Paris-et-Henry, à Elbeuf (Seine-Inférieure).

Demimuid (René), architecte, rue de Rennes, 65.

Denfer (Jules-François-Maxime), architecte, rue de la Santé, 9.

Deniel (Sébastien) ✠ ✠, rue Duguay-Trouin, 2, à Brest (Finistère).

Denis (Gustave), à Fontaine-Daniel, près Mayenne (Mayenne).

Denise (Lucien), passage Violet, 12.

Desjardins (Jean-Marc-Édouard), rue de Flandre, 100.

Despérais (Ch.), Viro S. Peresella de Spagnoli, 33, à Naples (Italie).

Deprez (Marcel), rue Cassini, 16.

Derennes (Jean-Baptiste-Ernest), rue du Bocage, 7, dans l'île Saint-Denis.

Deroide (Auguste), cité Rougemont, 3.

Desbrière, ✠ C. ✠ O. ✠ ✠, rue de Provence, 56.

Desforge (Louis-Alphonse), chef de section au chemin de fer de l'Est, à Troyes (Aube).

Desgrange (Hubert), ✠ C. ✠ ✠ ✠, boulevard Haussmann, 135.

Deshayes (Victor), à Terrenoire (Loire).

Desmasures (Camille), O. ✠, boulevard Haussmann, 64.

Desmousseaux de Givré (Émilien) ✠, rue de Lille, 79.

Desnos (Charles), ingénieur-conseil en matière de brevets d'invention, boulevard Saint-Martin, 13.

Desnoyers (Alfred), maître de forges, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, 36.

Després (Alphonse-Victor-Guillaume), à Brissac (Maine-et-Loire).

Despret (Édouard), ingénieur en chef, directeur des voies et travaux du chemin de fer Grand-Central belge, rue de Trèves, 33, à Bruxelles (Belgique).

Devaureix (Michel-Jules), rue Rivay, 34, Levallois-Perret.

Deville (Anatole), rue de Lyon, 39.

Dez (Jules), représentant de la maison Degousée, via del Duomo, 33, à Naples (Italie).

Dézelu (Jacques-Isidore), chef d'atelier au chemin de fer de l'Ouest, rue Saussure, 116, aux Batignolles.

D'Hamelincourt (Éloi-Joseph), constructeur d'appareils de chauffage et de ventilation, rue Salneuve, 29 (Batignolles).

D'Hubert (Joseph-Adolphe-Constant), directeur de la Compagnie Lesage, rue de Richelieu, 110.

Diard (Henri-Pierre-Alfred), à Amboise (Indre-et-Loire).

Didierjean (Eugène) ✠, à Saint-Louis (Lorraine).

MM. Dietz (David), ingénieur du matériel roulant au chemin de fer de l'Est, rue Pajol, 22.

Dolabaratz (Louis-Alfred), ingénieur à la maison Cail, rue des Bassins, 15, Champs-Elysées.

Dombrowski (Thomas-Adolphe), ingénieur des travaux et de la surveillance au chemin de fer de l'Est, à Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).

Donnay (Charles), constructeur, impasse Rébeval, 23.

Donon (Alfred-Adrien), boulevard Malesherbes, 17.

Dorion (Joseph-Charles-Marie), à Montceau-les-Mines (Saône-et-Loire).

Dornès (Auguste-Charles-Joseph) ✵, ingénieur du chemin de fer de Vitré, à Fougères (Ille-et-Vilaine).

Dorré, à la gare du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg.

Doury (Paul), rue de Compiègne, 2.

Dru (Saint-Just) (Antoine), route de Fontainebleau, à Gentilly (Seine).

Dru (Léon-Victor-Edmond), rue Rochechouart, 69.

Dubied (Henri-Édouard), à Couvet, par Pontarlier (Suisse).

Dubois (Eugène-Auguste), rue de l'Escaut, à Anzin, près Valenciennes (Nord).

Dubuc (Michel-Maximilien), constructeur-mécanicien, rue de Turbigo, 68.

Ducrot (Édouard-Jean-Baptiste), constructeur d'appareils de chauffage, rue de la Folie-Méricourt, 38.

Dufay (Eugène-Isidore), gérant de la sucrerie de Chivry-Cossigny, par Brie-Comte-Robert (Seine-et-Marne).

Dufaure (Gabriel), chef du bureau du matériel et de la traction au chemin de fer des Charentes, à Saintes (Charente-Inférieure).

Dufournel (Alphonse-Théodore) ✵, à Gray (Haute-Saône).

Dufrené (Hector-Auguste), agence des brevets, rue de la Fidélité, 10.

Dugourd, rue de la Ferme-des-Mathurins, 25.

Dujour (Nicolas-Alexis), chef du bureau des études du matériel fixe au chemin de fer de Lyon, rue de Lyon, 3.

Duluc (Pierre-Auguste-Marie-Albert), rue du Cardinal-Lemoine, 62.

Duméry, boulevard des Batignolles, 24

Dumont (Marie-Georges), rue Mansart, 11.

Dumont (Henri), à Jaguara, province de Minas Peraes (Brésil).

Dumont (Louis-François), rue Sedaine, 55.

Duparc (Georges), fabricant de briques, à Sarcelles (Seine-et-Oise).

Dupont (Albert), rue Duperré, 19.

MM. Dupuis (Edmond-Louis), avenue Nationale, 136, à Passy.
Dupuy (Léopold-Philibert), rue de Flandre, 108.
Durand (Eugène-Alfred), constructeur-mécanicien, avenue d'Eylau, 143.
Durant (Léon-Alexandre-Émile) ✻, sous-chef du bureau des études du matériel et de la traction au chemin de fer d'Orléans, rue Linnée, 13.
Durenne ✻, constructeur, quai Napoléon, 29, à Courbevoie.
Durenne (Antoine), O. ✻, maître de forges, rue de la Verrerie, 30.
Durocher (Constant), à Coulommiers (Seine-et-Marne).
Durœux (Adolphe-Auguste), boulevard Ornano, 7.
Durval (Maurice-Charles), à Piombino, près Massa Maritima (Italie).
Duthu (Paul-Louis), ingénieur des hauts fourneaux de MM. Holtzer, Dorian et Cie, à Ria (Pyrénées-Orientales).
Duval (Raoul), rue François Ier, 45.

E

MM. Eiffel (Gustave), rue Fouquet, 46, à Levallois (Seine).
Ellis (Théodore), Hartford Connecticut, États-Unis (Amérique).
Ellissen (Albert) ✻ ✠ ✻, rue Abbatucci, 21.
Elmering (Adolphe), rue de la Ferme, à Rouen (Seine-Inférieure).
Elwell père, à Rosny-sur-Seine (Seine-et-Oise).
Elwell (Thomas), constructeur, avenue Trudaine, 26.
Engelmann, rue Bellocq, 8, à Pau (Basses-Pyrénées).
Epstein (Jules-Eugène), rue de Berri, 4.
Erckmann (Ferdinand), au Pérou.
Ermel (Frédéric) ✻ ✠, cité des Fleurs, 54, à Batignolles.
Escalle (Pierre), directeur de la forge de Bessèges, à Bessèges (Gard).
Escande (Antoine-Marie), entrepreneur de constructions en fer, rue de Vaugirard, 177.
Estoublon (Henry), aux hauts fourneaux de Rainville, par Longny (Orne).
Etchats (Raymond), ingénieur consultant des mines de Carthagène (Espagne).
Étienne (Antoine) ✻, rue Paradis-Poissonnière, 13.
Euverte (Jules) ✻, directeur des usines, à Terre-Noire (Loire).
Évrard (Alfred), directeur de la Compagnie des houillères de Ferfay-Auchel, près Lillers (Pas-de-Calais).

F

MM. Fabre (Émile-Jean-Jacques-Ernest), ingénieur en chef des chemins de fer d'Orléans à Rouen, rue Blanche, 97

Falguerolles (Eugène), ingénieur, chef du matériel et de la traction des chemins de fer de Picardie et Flandres, à Roye (Somme).

Faliès (Jacques-Alfred) ✱, rue de Montauban, 4, au Mans (Sarthe).

Farcot (Joseph) ✱, constructeur, au port Saint-Ouen (banlieue).

Farcot père ✱, constructeur, au port Saint-Ouen (banlieue).

Farcot (Emmanuel), avenue de Catinat, 1, à Saint-Gratien (Seine-et-Oise).

Farcot (Abel), au port Saint-Ouen (banlieue).

Farcot (Paul-Martial-Joseph), sous-ingénieur de la maison Farcot et ses fils, au port Saint-Ouen (banlieue).

Faure-Beaulieu, filateur de laine, à Gravelle-Saint-Maurice (Seine).

Favre, quai Conti, 15.

Fayol (Henri), ingénieur principal des houillères, à Commentry (Allier).

Febvre (Armand), rue de Ponthieu, 23.

Feer (Daniel-Paul), rue de Pascal, 85, à Bruxelles (Belgique),

Fellot (Jean), rue de Constantinople, 20.

Fernex (de), rue Perdonnet, 9.

Fernique (Albert) ✱, chef des travaux graphiques à l'École centrale, rue de Fleurus, 31.

Férot ✱, rue d'Aumale, 14.

Fèvre (Léon-Jean-Baptiste), rue de la Tour, 117, à Passy.

Fèvre (Henri), architecte, rue de la Ville-l'Evêque, 31.

Fichet (Pierre-Anatole), rue de Clichy, 21.

Fiévet (Ernest-Émile), place Saint-Denis, 16, à Amiens (Somme).

Flachat (Adolphe), rue Saint-Lazare, 62.

Flachat (Jules) ✱, rue de la Gare, 12, à Niort (Deux-Sèvres).

Flachat (Yvan), rue de Grénelle-Saint-Germain, 102.

Flaman (Nicolas-Charles-Eugène), rue Saint-Laurent, 52, à Lagny (Seine-et-Marne).

Flavien (Émile-Georges) ✱, rue du Bouloi, 26.

Fleury (Edme), au Tréport (Seine-Inférieure).

Fleury (Pierre-Élie-Jules), ✱ ✱, rue Perdonnet, 13.

Fleury (Jean-Simon), ✱ O. ✱, de la maison André et Fleury, constructeurs, rue de Sablonville, 7 et 9, à Neuilly-sur-Seine.

Fleury (Jules-Auguste), rue de Vaugirard, 61.

MM. FLICOTEAUX (Achille), rue de Grenelle-Saint-Germain, 59.

FLOUCAUD (Arnaud-Joseph), ingénieur de la Compagnie des bassins houillers du Hainaut, à Illiers (Eure-et-Loir).

FONBONNE (de) (Charles-Alexandre), boulevard de Magenta, 117.

FONTAINE (Hipppolyte), rue Saint-Georges, 52.

FONTENAY (de) (Anselme) ✱, ingénieur-chimiste au chemin de fer d'Orléans, boulevard Saint-Michel, 77.

FONTENAY (Tony), rue Lesdiguières, 15, à Grenoble (Isère).

FONTENAY (de) (Eugène) ✱, rue de l'Arbalète, 14, à Autun (Saône-et-Loire).

FORET (Miltiade) ✱, directeur des usines métallurgiques, à Montluçon (Allier).

FORQUENOT (Victor) ✱, ingénieur en chef du matériel et de la traction au chemin de fer d'Orléans, boulevard Saint-Michel, 24.

FORTET (Charles-Élie-Dioclès), sous-chef de bureau des travaux neufs au chemin de fer du Nord, rue Château-Landon, 22.

FORTIN-HERRMANN (Louis), boulevard Montparnasse, 138.

FORTIN-HERRMANN (Émile), boulevard Malesherbes, 92.

FOUCHÉ (F.-H.), constructeur, rue des Écluses-Saint-Martin, 30.

FOULON Y TUDO (Joseph-John), ingénieur en chef de la maison Batllo Hermanos, à Barcelone (Espagne).

FOUQUET (Louis-Ernest) ✱, chez M. Gouin, avenue de Cichy, 176.

FOURET (Georges-Jean-Baptiste), rue Billault, 16.

FOURNIER (Victor) ✱, métallurgiste, boulevard de l'Empereur, 178.

FOURNIER, rue de la Ville-l'Evêque, 40.

FOURNIER (A.), architecte, boulevard du Chemin-de-Fer, 60, à Orléans (Loiret).

FRAENKEL (Henri), au chemin de fer du Nord-Est, place de la République, à Lille (Nord).

FRAIX (Félix), rue de Châteaudun, 42.

FRANCEZ (Pierre-Auguste-Georges), rue de Châteaudun, 42.

FRANCISQUE-MICHEL (Roland-Victor), rue de l'Ancienne-Comédie, 13.

FRESNAYE (Adrien-Aimé), fabricant de papiers, à Marenla, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).

FREY fils (André-Pierre), constructeur, impasse Rébeval, 23, à Belleville.

FRICHOT, directeur de la Compagnie linière, à Pont-Remy (Somme).

FRIEDMANN (Alexandre), à Vienne (Autriche).

FROMANTIN (Jean-Baptiste), rue Bonaparte, 53.

FROMENT (Charles-Jules), place Wagram, 1.

FROMONT, au chemin de fer de l'Est, place du Grand-Puits, 7, à Vesoul (Haute-Saône).

FUCHET (Pierre-Paul), carrefour de l'Observatoire, 2.

G

MM. Gaget (Jean-Baptiste), canalisation d'eau, couverture et plomberie d'art, 23, rue Guttemberg (Boulogne-sur-Seine).

Gaildry (Cyprien), chaussée du Maine, 4.

Gailleux (Antoine), sous-chef de section au chemin de fer du Nord de l'Espagne, calle de la Princesa, 14, à Madrid (Espagne).

Gallais (A.-Pierre), hôtel du Commerce, au Creusot (Saône-et-Loire).

Gallaud (Charles), chef de bureau de la voie et des travaux au chemin de fer de ceinture, rue Neuve-Fontaine-Saint-Georges, 6.

Gallois (Charles), à Francières, par Pont-Saint-Maxens (Oise).

Gambaro, inspecteur principal du matériel au chemin de fer de l'Est, boulevard de Magenta, 154.

Gandillot (Jules), rue Boileau, 12, à Auteuil.

Gannebon (Edmond), O. ✻, rue de Boursault, 18.

Garate Galo, à Haro, Vieille-Castille (Espagne).

Garcia (Manuel-Charles-Auguste), à Saintes (Charente-Inférieure).

Gargan (Louis-Xavier), à Livry (Seine-et-Oise).

Garnier (Jules-Jacques) ✻, boulevard de Magenta, 35.

Gast (Édourd-Victor), à Isseinheim (Alsace).

Gauchot (Paul-Élie), rue du Faubourg-Saint-Martin, 177.

Gaudet, O. ✻, maître de forges, à Rive-de-Gier (Loire).

Gaudineau (Louis), constructeur d'appareils à gaz, rue Martel, 17.

Gaudry (Jules), boulevard de Magenta, 137.

Gaultier (Georges-Léon-Louis), rue Clapeyron, 5.

Gaune (André-Joseph-Émile), à San-Luez de Moranhâo (Brésil).

Gaupillat (Ernest) ✻, au Bas-Meudon (Seine-et-Oise).

Gauthey (Émile-Mac-Marius), industriel, rue Charlot, 48.

Gauthier (Charles-Prosper) ✻, rue Saint-Vincent-de-Paul, 3.

Gautier (Paul-Émile), rue du Temple, 20.

Gautier (Ferdinand), rue de la Pompe, 90, à Passy.

Gayrard (Gustave) ✻, sous-directeur du chemin de fer de Ceinture, rue de Berlin, 33.

Geai (Urbain-Jean), directeur de la Société de constructions navales, quai Colbert, au Havre (Seine-Inférieure).

Geay (Charles-Louis), architecte, à Cognac (Charente).

Gelot (Grégoire-Eugène), ingénieur, chez M. Collin, rue du Pont, 5, à Suresnes (Seine-et-Oise).

Génissieu, administrateur de la Compagnie générale des voitures de Paris, rue Neuve-des-Mathurins, 55.

MM. Geoffroy (Octave), aux ateliers du chemin de fer du Nord, à Charleroi (Belgique).

Gerber (Eugène), directeur de l'exploitation des chemins de fer de Roumanie, rue Mogossei, 53, à Bucharest.

Germon (Alexis), C. ✻, ingénieur de la traction au chemin de fer de Paris à Lyon, rue de Lyon, 8.

Geyler (Alfred-Édouard), métallurgiste, rue de la Victoire, 46.

Gibon (Alexandre-L.) ✻, directeur des Forges de Commentry (Allier).

Giffard ✻, rue de Marignan, 14.

Gignoux (Arthur-Joseph), rue Doudeauville, 98.

Gigot (Paul-Eugène), rue du Faubourg-Poissonnière, 123.

Gil (Claudio), boulevard des Capucines, 6.

Gillot (Auguste), boulevard de Villiers, 101.

Gillot (Isidore-François-Louis), quai de la Râpée, 54.

Gillotin (Émile), à Plainfaing (Vosges).

Girard (Adam-Charles), rue des Écoles, 20.

Girard (Joseph), Grande-Rue, 6, à Albertville (Savoie).

Gislain, distillation des schistes bitumineux, rue de Turin, 32.

Godfernaux, maison Gouin, 176, avenue de Clichy (Batignolles).

Goldenberg (Paul-Frédéric-Alfred), à Zornhoff, près Saverne (Alsace).

Goldschmidt (Philippe), IX Liechtenstein strasse, 11, à Vienne (Autriche).

Goldschmidt (de) (Théodore), Elisabeth strasse, 3, à Vienne (Autriche).

Gondolo (Antonio-Guido), contrôleur du matériel des chemins de fer de la haute Italie, à Turin (Italie).

Gorria (Hermenegildo), ingénieur à l'usine à gaz, Paseo, 5, à Zaragoza (Espagne).

Goschler (Charles), O. ✻, conseiller technique à la direction générale des chemins de fer ottomans, à Constantinople (Turquie).

Gottereau (Georges-Jean-Marie), ingénieur aux mines de Blanzy, à Montceau-les-Mines (Saône-et-Loire).

Gottschalk, ingénieur en chef, directeur du matériel et de la traction aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, Maximilian strasse, 5, à Vienne (Autriche).

Gouault (Pierre-Alexandre), rue Ganterie, 60, à Rouen (Seine-Inférieure).

Gouilly (Henri-Louis-Auguste), à Tunis (Barbarie).

Gouin (Ernest), C. ✻, constructeur, rue de Cambacérès, 4.

Goumet, constructeur de pompes, rue du Temple, 118.

Goupillon (Arthur-Jules-Désiré), chef du service central du chemin de fer de l'Hérault, rue Nollet, 81, à Batignolles.

MM. Gouvy (Alexandre), gérant et copropriétaire des forges de Dieulouard (Meurthe-et-Moselle).

Gouvy (Émile), maître de forges, à Goffontaine (Prusse rhénane).

Govignon (Henri-Bonaventure), à Vouziers (Ardennes).

Grall (Isidore), à Saint-Nazaire-sur-Loire (Seine-Inférieure),

Grand (Albert), ingénieur cantonal des ponts-et-chaussées, à Neuchâtel (Suisse).

Grand fils (Julien), directeur des forges, à Oullins, près Lyon (Rhône).

Grasset (Louis-Ch.-Constant), C. ✻, chef du service de la voie au chemin de fer du Nord de l'Espagne, Léganitos, 54, à Madrid (Espagne).

Grégory (Georges-Aristide), chef de section aux chemins de fer des Charentes, à Maransin, par Guîtres (Gironde).

Greiner (Adolphe), chef du service des aciéries de Cockerill, à Seraing (Belgique).

Gressier (Louis-Edmond), rue de Lyon, 3.

Grièges (de) (Louis-Maurice), sous-ingénieur de la traction des chemins de fer de l'Ouest, rue de Clichy, 11.

Grouvelle (Philippe-Jules), rue des Écoles, 26.

Gruau (Félix), ingénieur à la maison Gouin et Cie, avenue de Clichy, 176, à Batignolles.

Guébhard (Alfred), O. ✻ ✠ ✻, rue de Milan, 11.

Guébin (Jules), fabricant d'appareils d'éclairage, rue Saint-Gilles, 12.

Guénivet (Ernest), chef de la verrerie de la Croix-Blanche, à Vierzon (Cher).

Guérard (Paul), au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).

Guerbigny (Germeuil-Gaston), instituteur, à Villiers-le-Bel (Seine-et-Oise).

Guérin de Litteau (Edgar), O. ✻ ✻, rue Blanche, 3.

Guéroult (Paul), rue Lafayette, 150.

Guettier (André), constructeur de machines-outils, rue de la Tour, 70, à Passy.

Guibal (Théophile), ✻ O. ✠, professeur à l'École des Mines de Mons, rue des Groseilliers, 43, à Mons (Belgique).

Guillaume (Charles) ✻, Grande-Allée, à Toulouse (H.-Garonne).

Guillaume (Henri), rue du Château-d'Eau, 36.

Guillemin (Étienne), à la Perraudette, près Lausanne (Suisse).

Guillot (Gustave) ✻, à Charette, par Montargis (Loiret).

Guisan (Olivier-René), ingénieur en chef de la Société générale *la Tarentaise*, à Albertville (Savoie).

Guntz (Charles), rue du Pré-aux-Clercs, 5.

Guyenet (Constant-Auguste), boulevard de Magenta, 83.

H

MM. Haass (Henri), C. ✻ O. ✻ O. ✻ ✻ ✻, chef de la maison Krupp, rue de Provence, 65.

Hallié (François-Ernest) ✻, fondateur de l'Institut d'arts et métiers de Fermo (Italie).

Hack (Édouard-Louis), rue de la Tour, 16, à Passy.

Hallopeau (Paul-François-Alfred), rue de Lyon, 3.

Hamelin (Paul), chimiste, rue Lebon, 5, aux Ternes.

Hamelin (Gustave), mécanicien, rue Lebon, 5, aux Ternes.

Hamers, boulevard Jourdan, 46 (14e arrondissement).

Hamoir ✻, maître de forges, à Maubeuge (Nord).

Harmand (Eugène-Auguste), à Épernay (Marne).

Harpe (de la) (Théophile), à Vevey (Suisse).

Haugton (Benjamin), 1, Westminster Chambers, Victoria street, London, S. W. (Angleterre).

Hély-d'Oissel (Paul-Frédéric), rue de Chaillot, 70.

Henderson (David-Mar.), ingénieur en chef des douanes impériales chinoises, à Shang-Haï (Chine).

Henry (Jean-Edmond), rue du Poteau, 19.

Henri-Lepaute fils (Édouard-Léon), horloger, rue Lafayette, 6.

Henriet (Louis-Jean), ingénieur de la Compagnie des Docks de Saint-Ouen, rue de Chabrol, 28.

Herbet (Auguste), ingénieur aux forges de Tamaris, près Alais (Gard).

Hermary (Hippolyte-Albert-Joseph), agriculteur, à Moulle, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).

Herpin (Louis), boulevard Beaumarchais, 79.

Hersent-Hildevint, rue de Naples, 4.

Herscher (Charles-Georges), constructeur, rue du Chemin-Vert, 42.

Hervey-Picard (Paul-Philippe), architecte, rue de Rome, 74.

Hervier (Alfred-Charles), boulevard Beaumarchais, 102.

Heurtebise (Paul), chez M. Doré, maître de forges, rue Chappe, 4, au Mans (Sarthe).

Hinstin (Napoléon), rue d'Aboukir, 38.

Hittorf (Henri-Bonaventure), rue Saint-Lazare, 44, à Bruxelles (Belgique).

Homburger (David), propriétaire de force motrice, quai Jemmapes, 176.

Honoré (Frédéric), directeur des Établissements de la Risle, Pont-Audemer (Eure).

Houel, O. ✻, avenue des Champs-Élysées, 75.

MM. Houel (Jules-Gervais-Auguste), avenue des Champs-Élysées, 75.
Houlbrat (Abel), rue de Rome, 63.
Houlon (Amédée-Joseph), à Angoulême (Charente).
Hourier (Évariste) ✠, rue des Acacias, 20, aux Ternes.
Houssin (Jules-Clément), avenue du Midi, à Limoges (Haute-Vienne).
Hovine (Alfred), rue de Lyon, 61.
Huber (William) ✠, rue de Miroménil, 76.
Huet (Alfred), métallurgiste, rue de la Victoire, 46.
Hugon (Pierre), rue de Vaugirard, 165.
Huguenin (Jules), maison Marius Boelger, à Bâle (Suisse).
Huguet (Auguste-Adrien), directeur de la Compagnie des chemins de fer de Barbezieux à Châteauneuf, avenue de Villiers, 103.
Hunebelle aîné (Jules), O. ✠, entrepreneur de travaux publics, rue de Solferino, 2.

I J

MM. Ibran (Jérôme), directeur des forges et hauts fourneaux de Mières, province de Oviedo (Espagne).
Imbert (Jean-Jules), ingénieur à la Compagnie du touage de Conflans à la mer, quai de Paris, 42, à Rouen (Seine-Inférieure).
Imbs (Alexis-Joseph-Albert), avenue d'Eylau, 18.

MM. Jacques (Léon), ingénieur des ateliers de la Société Cockerill, à Seraing (Belgique).
Jacques (Jean-Nicolas), rue des Gaillards, 7, à Poitiers (Vienne).
Jagnaux (Raoul), rue Mongenot, 9, à Saint-Mandé.
Jalibert (Louis-Ferdinand), rue Daru, 15.
Jamin (Jules-Édouard), O. ✠, à Madiran, par Castelnaud-Rivière-Basse (Hautes-Pyrénées).
Janicki (Stanislas), place Vendôme, 12.
Jantot (Jacques-Edmond), directeur des hauts fourneaux et fonderies, à Mertzwiller (Alsace).
Japy (Jules-Auguste-Wilhem), manufacturier, à Beaucourt (Haut-Rhin).
Javal (Ernest), ingénieur des mines, rue de Téhéran, 13.
Jeanson (Charles-Marie-Auguste), rue de Seine, 69.
Jequier (Henri-Jean), rue du Val-de-Grâce, 9.
Joannis (de) (Léon), chez M. J. Barra, à Baracaldo, près Bilbao (Espagne).
Jolly (César) ✠, à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Joly (de) (Théodore), boulevard Saint-Germain, 225 *bis*.

MM. JOLY (Charles-Victor), ingénieur de la Société métallurgique de l'Ariège, près Foix (Ariége).

JOMIER (Jean-Henri), constructeur de machines agricoles, rue Fontaine-au-Roi, 10.

JONES (Hodgson), 25, Old Broad street, E.C. Londres (Angleterre).

JONTE (Émile-Frédéric) ✻, directeur des usines et forges de Franche-Comté, avenue Daumesnil, 116.

JORDAN (Samson) ✻, professeur de métallurgie à l'École centrale, rue de Bruxelles, 15.

JOUBERT (Léon-Philippe), rue Pigalle, 46.

JOURDAIN (Maurice-Frédéric), rue de Penthièvre, 7.

JOURDAN (Ernest-Nicolas), sous-directeur de l'usine à gaz de Strasbourg (Alsace-Lorraine).

JOUSSELIN (Paul) ✻, rue de Turbigo, 1.

JOYANT (Charles-Paul-Abel), ✻ O. ✻, rue Labruyère, 19.

JUANMARTINENA (de) (José), à Renteria, province de Guipuzcoa (Espagne).

JUBECOURT (de) (Barthélemy), directeur de la fabrique de faïence et porcelaine, à Vaudrevange, par Sarrelouis (Prusse rhénane).

JULLIN (Aimé), ingénieur du matériel et de la traction au chemin de fer d'Orléans à Châlons, rue de la Paix, 33, à Troyes (Aube).

JUNCKER (Paul), 17, avenue Trudaine.

JURY (Joseph), chef de bureau de la construction des chemins de fer des Charentes, 133, avenue de Paris, à Bordeaux (Gironde).

K

MM. KISLANSKI (Wladislas), ✻ ✻ ✠, rue de la Loi, 143, à Bruxelles (Belgique).

KOCH (Louis-Adolphe), imprimeur-lithographe et typographe, rue de Trévise, 46.

KOMARNICKI (Sigismond), ingénieur principal aux chemins de fer de la Theiss, Marie-Valérie-Gasse, 1, à Pest (Hongrie).

KRAFT (Jean), ingénieur en chef du service des machines à la Société Cockerill, à Seraing (Belgique).

KREGLINGER, rue Stassart, 141, à Ixelles-lez-Bruxelles (Belgique).

KRONENBERG (Ladislas), à Varsovie (Pologne).

KRÉMER (Philippe), constructeur, 26, Pont Saint-Martin, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

KREMER (François), Demidoff Pereoulok n° 3, Log n° 33, à Saint-Pétersbourg.

KRUPP (Alfred), O. ✻ C. ✻ ✻ ✻ ✠ ✻, à Essen (Prusse).

L

MM. Laborde (Auguste-Jules), chez MM. Lecointe et Villette, à Saint-Quentin (Aisne).

Laborie (Alexandre), ✱ ✱, boulevard de Sébastopol, 27.

Laboulaye ✱, rue de Madame, 40.

Labouverie (Prosper), à Bouillon, province de Luxembourg (Belgique).

Lacretelle (Claude-Étienne), à Bois-d'Oingts (Rhône).

Lacroix (Antoine), chimiste à la manufacture des glaces, à Chauny (Aisne).

Laferrère (Jean), ingénieur divisionnaire, chemin de fer du Sud-Est, rue des Archers, 1, à Lyon (Rhône).

Lafon (Adrien), à Mazamet (Tarn).

Laforestrie (Joseph-Marie-Léon), ingénieur du gouvernement haïtien, au Port-au-Prince (Haïti).

Lainé père, fondeur, rue du Faubourg-du-Temple, 59.

Lainé fils (Édouard-Louis-Armand), fondeur, faub. du Temple, 59.

Laligant (Paul), fabricant de papiers, à Maresquel, par Campagne-lès-Hesdin (Pas-de-Calais).

Lalo, rue Saint-André-des-Arts, 45.

Lambert (Léon-Arthus), fabricant de sucre, à Toury (Eure-et-Loir).

Laming (Joseph-Mowbray), rue du Cherche-Midi, 64.

Lancel (Augustin-Jules), ingén. de la voie, à Tergnier (Aisne).

Landry (Louis-Pierre), rue Jeanne-d'Arc, 67, à Rouen (Seine-Inférieure.

Landsée (de) (Adolphe), ingénieur en chef du matériel des chemins de fer d'Asie, rue Sofiali-Pira, 7, à Constantinople.

Langlois (Auguste), à l'usine à gaz, à Reims (Marne).

Langlois (Charles), rue de Vienne, 17.

Langlois (Ernest-Hippolyte), directeur gérant de l'institut d'arts et métiers, à Fermo (Italie).

Lantin (Maurice), filateur, à Bernouville (Eure).

Lantrac (Eug.-Adolphe), avenue Joséphine, 39.

Larochette (de) (Jérôme) ✱, associé gérant de la Compagnie des hauts fourneaux et fonderies de Givors, cours du Midi, 11, à Lyon (Rhône).

Larrue (Louis), rue Rabelais, 8.

Lartigue (Henri), Grande-Rue, 66, à Passy.

MM. Lartigue (Charles-François), O ✻, secrétaire de la Compagnie des chemins de fer de Madrid à Alicante, rue Laffitte, 17.
La Salle (Auguste), à Kriens, près Lucerne (Suisse).
Lasseron (Charles), rue Lafayette, 12.
Lasson (Alphonse), faubourg Saint-Martin, 12.
Lathuillière (Jean-Claude), constructeur, rue Delambre, 22.
Launoy (Louis-Ernest), rue du Canal-Saint-Martin, 18 et 22.
Laurens (Camille) ✻, rue Taitbout, 82.
Laurent (Lambert), rue de Pessac, 192, à Bordeaux (Gironde).
Laurenzano (Nicolas-Marie), strada Egiziaca, à Pizzofalcone, 59, à Naples (Italie).
Lauth (Charles), rue de Fleurus, 2.
Lavalley, O. ✻ C. ✻, rue Murillo, 18.
Lavallée (de) Poussin (Oscar-Gustave), ingénieur en chef de la Compagnie des eaux, place Vendôme, 16.
Laveissière (Émile-Jean), rue de la Verrerie, 58.
Lavezzarie (Émile), rue de Constantinople, 12.
Lebargy, ingénieur de la voie, à Amiens (Somme).
Leblanc (Félix) ✻, professeur à l'École centrale, vérificateur du gaz de la Ville de Paris, rue de la Vieille-Estrapade, 9.
Lebon (Eugène), ✻ C. ✻, rue Drouot, 11.
Le Brun (Louis-Gabriel), constructeur mécanicien, rue de Belzunce, 6.
Le Brun (Raymond-Louis) ✻, ingénieur au chemin de fer du Sud-Est, rue des Archers, 1, à Lyon (Rhône).
Lecellier (Charles-Victor), rue de Trévise, 44.
Lecherf, ingénieur au chemin de fer, à Etterbeek (Belgique).
Léclanché (Georges), fabricant d'appareils télégraphiques, rue de Laval, 9.
Le Clerc (Achillle) ✻, directeur de la Société des polders de Boin (Vendée), rue Bonaparte, 17.
Leclerc (Émile) ✻, rue Lemercier, 32 (Batignolles).
Lecœuvre (Paul) ✻ ✻ ✻, boulevard Voltaire, 62.
Lecoq (Jean-Félix-Édouard), contrôleur principal du matériel au chemin de fer des Charentes, faubourg Saint-Martin, 66.
Lecorbeiller (Georges-G.), rue de Stockholm, 4.
Le Cordier (Léon), rue Gay-Lussac, 8.
Lecouteux (Nicolas-Hippolyte), rue Oberkampf, 74.
Lefèvre (Eugène-Hippolyte), chef de service des travaux neufs au chemin de fer du Nord, à Bavay (Nord).
Lefrançois (Jean-Louis), service de la comptabilité du chemin de l'Ouest, rue de Rocroy, 23.
Lefrançois (Eugène), rue Pauquet, 9.
Legard (Léopold-Léonce), à Serrières de Briord (Ain).

MM. Legat (Mathurin-Désiré), rue de Châlons, 22.

Legat (Camille-Constant-Régis), à Saint-Étienne (Loire).

Legavriand (Paul-Floride), à Lille (Nord).

Léger (Jean-Pierre-Alfred), 9, rue du Collége, à Arles (Bouches-du-Rhône).

Legris (Édouard), constructeur de machines, à Maromme (Seine-Inférieure).

Lejeune (Charles-Émile) ✱, chef de l'exploitation du chemin de fer des Charentes, rue de Châteaudun, 42.

Le Lauren (Jules), rue de la Sorbonne, 2.

Leloup (Joseph-Benoît), fabricant de sucres, à Arras (Pas-de-Calais).

Leloup (Félix), à l'usine à gaz.

Leloup (Louis-Joseph-Clément), 17, rue Saint-Guillaume (Courbevoie).

Lemaréchal (Dieudonné-Jules), lamineur de métaux, rue Chapon, 3.

Lemasson (Cyrille), O. ✱, chef de service de l'entretien du matériel et des magasins de la Compagnie du canal de Suez, à Ismaïlia (Égypte).

Lemoinne (Lucien) ✱, directeur de l'Asile national de Vincennes, à Saint-Maurice (Seine).

Lemoine (Émile-Michel), rue du Cherche-Midi, 55.

Lemonnier (Paul), aux forges de Terre-Noire (Loire).

Lemonnier (Paul-Hippolyte), avenue de Suffren, 26.

Lemonon (Ernest), à Arc-en-Barrois (Haute-Marne).

Lencauchez, rue du Faubourg-Saint-Martin, 212.

Lenicque (Henri), ingénieur de la fabrique de soude de la Goismond, place du Santal, 4, à Nantes (Loire-Inférieure).

Lepainteur (Constant), directeur de la Fonderie, à Évreux (Eure).

Lepeudry (Paul-Noël), rue Montholon, 28.

Lepeudry, rue Montholon, 28.

Leprince (Alexandre), ingénieur hydraulicien, à Vevey (Suisse).

Le Roy (Amable) ✱, faubourg Saint-Martin, 161.

Le Roy Desclosages (Raoul-Charles), à Champigny-sur-Marne (Seine).

Lesauvage (Jean-Baptiste), rue de la Comédie, 35, au Havre (Seine-Inférieure).

Lespermont (Louis-Joseph-Amédée), boulevard de Sébastopol, 9.

Letellier (Antoine-Émile), rue Saint-Vincent-de-Paul, 7.

Letestu, fabricant de pompes, rue du Temple, 118.

Létrange (Léon), fondeur, lamineur et maître de forges, rue des Vieilles-Haudriettes, 1.

Levassor (Émile-Constant), avenue d'Ivry, 19.

MM. Levat (Gustave) ✻, à Arles (Bouches-du-Rhône).
Level (Émile), boulevard Malesherbes, 119.
Lévêque (Alfred-Emmanuel-Louis), ingénieur des travaux maritimes au Chili.
Lévi-Alvarès (Albert), O. ✻ C. ✻, directeur de l'exploitation du chemin de fer de Cordoue à Séville (Espagne).
Leygue (Léon), rue Neuve-Fontaine-Saint-Georges, 8.
Lhomme (Paul-Émile), aux hauts fourneaux de Marquise (Pas-de-Calais).
Liébaut (Arthur), route d'Aubervilliers, 50, à Pantin.
Limet (Hippolyte), fabricant de limes, à Cosne (Nièvre).
Lippmann (Édouard), entrepreneur de sondages, rue de Chabrol, 51.
Litschfousse (Léon), Hiléras, 17, à Madrid (Espagne).
L'Lamas (Emmanuel-Joseph-Eugène), hôtel Rodrigue, au Creusot.
Lockert (Louis-Victor) ✻, rue d'Hauteville, 67.
Loiseau (Adolphe), rue Rivay, 34, à Levallois (Seine).
Loiseau (Désiré), raffineur, rue de Flandre, 145.
Longpérier (Charles), rue Sabot, 6, à Meaux (Seine-et-Marne)
Longraire (Léopold-François), via Goito, 10, à Gênes (Italie).
Lopez-Bustamente (Francisco), G. ✻, ingénieur en chef de la voie du chemin fer d'Alard à Santander, rue du 24 Septembre, à Santander (Espagne).
Loreau (Alfred-Isidore), constructeur, à Briare (Loiret).
Loriol (de) (Louis), ingénieur de l'usine à gaz de Lyon, rue Centrale, 46, à Lyon (Rhône).
Lotz-Brissonneau (Alphonse-François), constructeur à Nantes (Loire-Inférieure).
Loustau (Gustave), ✻ ✻ ✠ ✻, agent administratif du matériel du chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 20.
Love (Georges-Henri) ✻, rue Baudin, 21.

M

MM. Macabies (Paul-Maurice-Joseph), rue de la Chapelle, 20.
Macherez (Alfred), rue de Grenelle-Saint-Germain, 172.
Madelaine (Édouard), à Saintes (Charente-Inférieure).
Maegherman (Anatole-Victor), à la gare de Lisbonne (Portugal).
Maire (Armand), rue de la Bienfaisance, 10.
Maldant (Eugène-Charles), installation de travaux pour gaz et eaux, rue d'Armaillé, 27, aux Ternes.

MM. **Mallet** (Anatole), rue Blanche, 80.

Mallié (Jules), quai Jemmapes, 82.

Malo (Léon) ✻, directeur des mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).

Manby (Charles), ✻ C. ✻ ✻ ✠, 79, Harley street, Londres (Angleterre).

Mangini (Félix), rue des Archers, 1, à Lyon (Rhône).

Mangini (Lucien), rue des Archers, 1, à Lyon (Rhône).

Manoury (Armand-Joseph), directeur de la sucrerie de Lizy-sur-Ourcq (Seine-et-Marne).

Marchal (Victor), rue Michel-le-Comte, 25.

Marché (Eugène-Ernest), rue Neuve-Fontaine-Saint-Georges, 4.

Marco Martinez (Agapito), directeur du chemin de fer de Luchana al Regato, à Bilbao (Espagne).

Maréchal (Alfred), rue de Turin, 14.

Marié (Ernest) ✻, rue Madame, 49.

Marin (Paul), filateur à Bühl, près Guebwiller (Haut-Rhin).

Marindaz (Jules-Charles), rue Saint-Lazare, 90.

Mariotte (Charles), rue Charles V, 10.

Marland (Joseph), métallurgiste, à Aubenas (Ardèche).

Marle (Paul), à Montceau-les-Mines (Saône-et-Loire).

Marsillon (Jean) ✻, ingénieur principal, à Vesoul (Haute-Saône).

Marsillon (Léon), boulevard Haussmann, 80.

Martenot ✻, à Ancy-le-Franc (Yonne).

Martin (Charles), directeur d'une fabrique de produits pharmaceutiques, avenue Victoria, 24.

Martin (Louis) ✻, ingénieur en chef du chemin de fer de Vincennes, boulevard Beaumarchais, 54.

Martin (Charles-William), avenue de la Reine-Hortense, 13.

Martin (Léon-Adolphe), inspecteur du service télégraphique des lignes du Nord-Belge, à Liége-Longdey (Belgique).

Masselin (Armand), rue de Vaugirard, 372.

Massicard (Émile-Alexandre-Joseph), métallurgiste, à Fos (Haute-Garonne).

Masson (Georges), impasse Béranger, 11, à Vaugirard.

Mathias (Félix), ✻ O. ✻ ✻ ✠ ✻, rue de Dunkerque, 20.

Mathias (Ferdinand) ✻ ✻, à Lille (Nord).

Mathieu (Henri) ✻, rue Casimir-Périer, 27.

Mathieu (Ferdinand), O. ✻, rue de Provence, 56.

Mathieu (Maurice), inspecteur du matériel et de la construction des chemins de fer du Nord de l'Espagne, à Valladolid (Espagne).

Matthiessen (James-Adolphe), rue de Vienne, 5.

Mauget (Jean-Aristide) ✻; rue de Chabrol, 51.

MM. Mauguin (Pierre-Étienne), rue Taitbout, 80.
Maure (Edmond), avenue Percier, 10.
Maury (Noël), boulevard des Batignolles, 41.
Maury (Arthur-Nicolas), hôtel de la Poste, à Airolo, canton du Tessin (Suisse).
Maxevelle (Farnham), 6, cité de Retiro, faubourg Saint-Honoré.
Mayer (Ernest) ✻, rue d'Amsterdam, 41.
Meiner (Charles-Louis), maître de forges, à l'Isle-sur-le-Doubs (Doubs).
Mehrmann (Auguste-Albert), chef des ateliers de la Compagnie de l'Est, rue Pajol, 22.
Mélin (Jules-Léon), rue Louvois, 6.
Méliton (Martin), ingénieur en chef de la construction du chemin de fer du Nord-Ouest, calle del Avenal, 20, à Madrid (Espagne).
Ménager (Benjamin-Antoine-Eugène), boulevard Saint-Michel, 36.
Mensier (Alphonse-Eugène), à la gare de l'Est, rue de Strasbourg.
Méraux (Gustave-Louis), rue de Chabrol, 36.
Mercier (Auguste), chimiste de la Compagnie du chemin de fer de Lyon, rue Pierre-Levée, 18.
Mercier (Théophile-Auguste), chef de section de la voie au chemin de fer du Nord de l'Espagne, calle de Leganitos, 54, à Madrid (Espagne).
Mercier (Louis-Gustave), n. 9, Volksgartenstrasse, à Vienne (Autriche).
Mesdach (Louis-Charles-Marie), ✻ C. ✠ ✻ ✻, rue Saint-Paul, 28.
Mesmer ✻, à Graffenstaden (Alsace).
Mesnard (Auguste), ingénieur des ateliers de la maison Cail, rue de l'Université, 183.
Meyer (J.-J.), rue Louis-le-Grand, 22.
Meyer (Adolphe), rue Louis-le-Grand, 22.
Meyer (Henri), à Deville-les-Rouen (Seine-Inférieure).
Mianne (Gabriel-Antoine), rue de la Charité, 70, à Lyon (Rhône).
Michaud (Edmond), fabricant de savons, rue de Pantin, 49, à Aubervilliers (Seine).
Michaud (Jules), rue de Rennes, 105 *bis*.
Michel (Alphonse), à Troyes (Aube).
Michelant ✻, chef de traction au chemin de fer d'Orléans, boulevard Beaumarchais, 68.
Michelet (Émile), fabricant de plâtre, quai Valmy, 161.
Mignon ✻, constructeur, rue Oberkampf, 151.
Mirecki (Antoine-Slavomir), boulevard Magenta, 150.
Mitchell (William-Jean-Baptiste) ✻ ✻, au chemin de fer de Lyon, boulevard Mazas.

MM. Moerath (Jean-Népomucène) ✻, ingénieur en chef de l'Associato dell' Impressa generale di Costruzioni Traghetto alla Madonetto, 1445, à Venise (Italie).

Moisant (Armand), constructeur, boulevard de Vaugirard, 20.

Molin (de) (Georges-Henri), avenue de Belle-Roche, 1, à Lausanne (Suisse).

Molinos (Léon-Isidore) ✻, rue de Châteaudun, 2.

Moll (Henri), route de Toulouse, 144, à Bordeaux (Gironde).

Mollard, rue de l'Écluse, 17.

Mollet (Joseph-Charles-Firmin), à Guillaucourt (Somme).

Monard (Charles), rue Perdonnet, 12.

Monbro (Georges), représentant d'usines anglaises, rue Louis-le-Grand, 11.

Moncharmont (Paul), rue de la Bourse, 8, à Saint-Étienne (Loire).

Monfray (Albert), filateur, à Deville-les-Rouen (Seine-Inférieure).

Monnier (Démétrius), rue de la Darse, 7, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Monnot (Paul-Charles), impasse Royer-Collard, 4.

Monin (Charles), associé de la maison Rouffet, constructeur, rue Saint-Ambroise, 33.

Montel (François), ingénieur aux usines de Fourchambault, rue Augusta, 188, à Lisbonne (Portugal).

Montouan (André), rue des Carrières-de-Vaucelles, à Caen (Calvados).

Mony (Stéphane), O. ✻, à Commentry (Allier).

Morandière (Jules-Raoul), inspecteur principal attaché à la direction des chemins de fer de l'Ouest, rue Notre-Dame-des-Champs, 27.

Morandière (Édouard-Alexis), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.

Moreau (Albert), rue de Seine, 6.

Moreau (Émile), rue de la Tour, 16, à Bordeaux (Gironde).

Moreau (Auguste-François-Xavier), rue des Jacobins, 47, à Beauvais (Oise).

Moreaux (Félix) ✻ ✻, rue de Ponthieu, 1.

Morice, ingénieur du service de la voie, à Hazebrouck (Nord).

Morin (le général), G. ✻ ✠ ✻ ✻, directeur du Conservatoire des Arts-et-Métiers, rue Saint-Martin, 292.

Mors (Louis), rue Saint-Martin, 4 *bis*.

Mouchelet (Émile), rue de la Bienfaisance, 4.

Mulat (Pierre-Alexandre) ✻, aux Verreries de Fourmies (Nord).

Muller (Adrien), à Jemmepe-lez-Liége (Belgique).

Müller (Émile) ✻, professeur à l'École centrale, rue des Martyrs, 19.

Mulot-Durivage (Albert), rue Amelot, 16.

N

MM. Nancy (Alfred) rue des Vieux-Rapporteurs, 2, à Chartres (Eure-et-Loir).
Naranzo de la Gazza (Henri), ingénieur des mines, à Linares, province de Jaen (Espagne).
Néri (Ferreira-Jean) ✱, ingénieur, chez M. Souza, rua do Ouvidor, 69, à Rio-de-Janeiro (Brésil).
Nicod (Émile), à Audincourt (Doubs).
Nillis (Auguste), chef de section au chemin de fer de l'Est, à Navenne-lez-Vesoul (Haute-Saône).
Nillus (Albert-Emmanuel), rue de Rome, 71.
Nizet (Charles), rue des Saints-Pères, 67.
Nobel (Alfred), avenue Malakoff, 53.
Noisette ✱, rue des Poissonniers, 32, à la Chapelle.
Nordling (Wilhelm) ✱ ✱ ✱, directeur général des chemins de fer de l'Autriche, à Vienne (Autriche).
Normand fils ✱, constructeur au Havre, cours de la République, 1 (Seine-Inférieure).
Nougaret (Jean-Joseph), rue Saint-Palais, 119, à Saintes (Charente-Inférieure).
Nouguier (Émile-Toussaint-Joseph), rue des Batignolles, 47.
Noyer (Alexandre), rue Picard, 2, à Ivry (Seine).
Nye (Henry), boulevard de Clichy, 74.

O

MM. Ogier (Louis), directeur de la fabrique de caoutchouc, à Blanzet (Puy-de-Dôme).
Ollivier (Achille), boulevard Beaumarchais, 51.
Orsat (Louis-Hingest) ✱, rue de la Victoire, 29.
Orsatti (Camille) ✱ ✱, rue Neuve-des-Petits-Champs, 38.
Ory (Paul-Étienne), rue du Pont-aux-Choux, 17.
Osmond (Floris), hôtel de l'Europe, à Denain (Nord).
Oudot (Charles), rue des Saints-Pères, 45.
Oughterson (George-Blake), fondeur, à Rouen (Seine-Inférieure).

P

MM. Paget (Frédéric-Arthur), 1, Seymour Chambies, York-Buildings, Adelphi, W. C. (Londres).

Pajot (François-Théophile), rue du Faubourg-Saint-Honoré, 52.

Palotte (Émile) fils, rue de la Chaussée-d'Antin, 15.

Parent (Félix-Victor-Philippe), inspecteur du service de la voie au nord de l'Espagne, 54, calle de Legatinos, à Madrid (Espagne).

Parlier (Jean-Louis-Édouard), rue des Maronniers, 20, à Passy.

Pascal, rue de l'Abbaye, à l'île Saint-Denis (Seine).

Pascal (de) (Louis-Henri-Marie), à Haumont (Nord).

Pasquet-Chamier (Georges-Antoine), au Chatenet de Grun, par Bordas (Dordogne).

Paul-Dubos (Antoine), rue de Clichy, 67.

Paul (Ernest), ingénieur en chef du matériel et de la traction aux chemins de fer portugais, à Lisbonne (Portugal).

Payard (Charles-Émile), chimiste, à Baccarat (Meurthe).

Peiger (de) (Raymond-Ferdinand), avenue Friedland, 63.

Pélegrin (Henri-Auguste), ingénieur de la Yokohamas gas company, à Yokohama (Japon).

Pélegry (Maurice-François-Henri), maître des forges et laminoirs du Bazacle, à Toulouse (Haute-Garonne).

Péligot (Henri), rue Saint-Lazare, 43.

Pereire (Eugène), O. ✱ ✱, boulevard Maleshesbes, 84.

Pereire (Émile) fils, rue de Morny, 89.

Pereire (Henri), rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.

Pérignon (Eugène), faubourg Saint-Honoré, 105.

Périssé (Jean-Sylvain), rue Boursault, 59.

Pernolet (Arthur), rue de Luxembourg, 42.

Perrault (Auguste-Étienne) ✱, à Sées (Orne).

Pesaro (Jules), à Lille (Nord).

Petau (Gustave-Gédéon), constructeur, rue du Ranelagh, 8, à Passy,

Petin, O. ✱, maître de forges, à Rive-de-Gier (Loire).

Petit (François-Pierre-Guillaume), manufacturier à Louviers (Eure).

Petit (Émile-Charles), fabricant de papiers, rue des Minimes, à Roanne (Loire).

Petit (Germain-Félix-Amédée), rue Saint-Lazare, 70.

Petit (Lucien), rue Jeanne-d'Arc, 67, à Rouen (Seine-Inférieure).

MM. Petitjean, rue de Bruxelles, 13.

Petre, rue de Bourgogne, 52.

Petit (Marie-Gabriel-Édouard), cours Boieldieu, 2 *bis*, à Rouen (Seine-Inférieure).

Picard (Maurice-Félix-Antoine), rue de la Reine, 57, à Lyon (Rhône).

Picard (Firmin), ✱ C. ✱ ✱, entrepreneur de travaux publics, via del Corso, 340, à Rome (Italie).

Pichault (Stéphane), chef de section du matériel des chemins de fer de la Société de John Cockerill, rue Nicolaï, 80, à Seraing (Belgique).

Pierre (Antoine), à Remiremont (Vosges).

Pierron ✱, rue des Batignolles, 43, aux Batignolles.

Piet (Jules), appareils de chauffage et de ventilation, rue de Chabrol, 33.

Pihet (Aguste) fils, constructeur de machines, rue Neuve-Popincourt, 8.

Pillichody (Arnault), directeur du chemin de fer de Lausanne-Ouchy et des eaux de Bret, à Lausanne (Suisse).

Pinat (Léon), ingénieur des hauts fourneaux et forges d'Allevard (Isère).

Piquet (Aimé-Auguste), rue de la Tour, 22, à Passy.

Piquet (Alfonse), C. ✱ ✱, 5, plaza de Prim, à Madrid (Espagne).

Place (de) (Henri), ingénieur en chef de l'exploitation des houillères de Saint-Éloi, par Montaigut-les-Combrailles (Puy-de-Dôme).

Plainemaison (Édouard), ingénieur du matériel et de la traction aux chemins de fer du Nord de l'Espagne, calle Mendizabal, 6, à Valladolid (Espagne).

Plazanet (Joseph-Antoine) ✱, fabricant de produits chimiques, rue des Gravilliers, 23.

Poillon (Louis-Marie), constructeur de machines, à Lille (Nord).

Poiret (Émile), au Mans (Sarthe).

Pollet (Henri), directeur des mines de Santo-Martinho, à Alcanises, province de Zamora (Espagne).

Polonceau (Ernest-Gustave), O. ✱, sous-directeur de l'exploitation du chemin de fer de l'État, Schwartzemberg plates, 17, à Vienne (Autriche).

Poncelet (Antoine), ✱ G. O. ✱ C. ✱ O. ✱, à Bruxelles (Belgique).

Poncin (Frédéric), ingénieur au chemin de fer d'Orléans, rue de la Préfecture, 17, à Tours (Indre-et-Loire).

Ponsard (Auguste-Jean-Jules-Alexandre), O. ✱, rue de Constantinople, 2.

MM. PONSELLE (Georges-Nicolas-Eugène), chaussée d'Antin, 8.
PORTE (Napoléon-Cyprien), directeur de l'usine à gaz de Grenoble (Isère).
POT (Charles), à Cavaillon (Vaucluse).
POTHIER (Francis), administrateur de plusieurs sociétés de Mines, rue de Penthièvre, 6.
POTTIER (Ferdinand) ✻, passage des Eaux, 4, à Passy.
POUELL, ingénieur de la voie au chemin de fer du Nord, à Douai (Nord).
POULAIN (Jules-Étienne), rue Saint-Anastase, 7.
POUPARD, rue Pauquet, 21.
POURCEL (Alexandre), ingénieur des usines de Terre-Noire (Loire).
POWEL (Thomas), constructeur-mécanicien, à Rouen (Seine-Inférieure).
PRISSE (Édouard-Louis) ✻, directeur du chemin de fer d'Anvers à Gand, à Saint-Nicolas (Belgique).
PRONNIER (Charles) ✻ ✻, quai Voltaire, 23.
PROU (Victor-Armand), place de la Bourse, 15.
PROUTEAUX (René-Albert), ingénieur en chef des fonderies de Romilly-sur-Andelle, par Pont-Saint-Pierre (Eure).
PRUDON (Jean-Marie), directeur des ateliers de construction H. Joret et Cie, à Montataire (Oise).
PRUS (Georges), ingénieur de la Vieille-Montagne, à Unquera, par Torrelavega, province de Santander (Espagne).
PURY (de) (Gustave) ✻, rue du Château, 16, à Neuchâtel (Suisse).
PUYLAROQUE (de) (Raymond), rue de l'Université, 159.

Q

MM. QUÉRUEL (Auguste), rue Foy, 3.
QUESNOT (Louis-Auguste-Émile), boulevard Mazas, 20.

R

MM. RAINNEVILLE (de) (Xavier), boulevard Haussmann, 162.
RANCÈS (Frédéric) ✻, ingénieur du matériel au chemin de fer du Midi, rue d'Aviau, 27, à Bordeaux (Gironde).
RASPAIL (Émile-Jules), chimiste, rue du Temple, 11.
REBIÈRE (Guillaume) ✻, à Reims (Marne).
REDON (Martial), allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).
RÉGEL (de) (Philippe-Constant) ✻, à Lutzelhausen (Alsace).
REGNARD (Louis-Paul-Antoine), ingénieur de la Société des aciéries d'Ermont, rue Béranger, 6.

MM. Regnault (Jules) ✻, rue de Stockholm, 4.
Remaury (Henry), directeur des forges de Pompey, par Frouard (Meurthe-et-Moselle).
Renard (François-Nicolas), rue du Bac, 122.
Renard (Lucien) ✻, directeur de la Compagnie chaufournière de l'Ouest, rue de Rovigo, 18.
Retz (de) (Marie-Charles-Jean), chef du service des hauts fourneaux et fonderie de Saint-Louis-Marseille (Bouches-du-Rhône).
Revin (Jules-Henri-Victor), route de Péronne à Roye (Somme).
Revy (Jules-Jean-Hope), villa Camphille Road Crogdan, à Londres (Angleterre).
Rey (Louis-Pierre-Félix) ✻, rue d'Auteuil, 52.
Reydellet (de) (Hyacinthe-Joseph), rue de Lisbonne, 17.
Reymond (Francisque), entrepreneur, place de la Mairie, à Montbrison (Loire).
Reynaud (Charles), à Cette (Hérault).
Reynaud (Georges), associé de la maison Oudin Dubois, à Betheneville, par Pont-Faverger (Marne).
Ribail (Xavier) ✻, rue du Chemin-de-Fer, 35.
Ribourt (Léon-Eugène-Isidore), à Altorf-Uri (Suisse).
Riceschi (Sigismond), via Bocca di Leone, 22, à Rome (Italie).
Richard (Jean-Louis) ✻, ingénieur principal de la Compagnie du chemin de fer des Charentes, rue Billault, 31.
Riche (Antoine-Joseph), directeur des forges et laminoirs de l'Alliance, à Charleroi (Belgique).
Riche (Armand), rue Ducau, 27, à Bordeaux (Gironde).
Richemond (Émile-Louis), rue Malesherbes, 38.
Ridder (de) (Pierre-Octave), avenue du Coq, 3.
Rigollot (Ernest), à la gare de l'Ouest, boulevard Montparnasse.
Rocaché (Louis-Jules), rue de la Roquette, passage Sainte-Marie, 12.
Rognetta (François-Benoît), O. ✻ ✠ ✱, 24, via Cernaïa, à Turin (Italie).
Rogé (Xavier), maître de forges, à Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).
Rolin (Eugène), constructeur, à Braime-le-Comte (Belgique).
Rolin (François-Étienne), à Perra-Constantinople (Turquie).
Romme (Alfred) ✻, à Saint-Quentin (Aisne).
Ronna (Antoine) ✻ ✱, boulevard Haussmann, 25.
Roques (Adrien-Jacques), à Saint-Affrique (Aveyron).
Rosiés (Aristide), rue Duguesclin, 8, à Marseille (B.-du-Rhône).
Rouart, constructeur, rue Oberkampf, 149.
Rouget (Paul-Frédéric), directeur de l'usine à gaz de Brest (Finistère).
Rouit (Henry), rue Sicard, 17, à Bordeaux (Gironde).

MM. ROUSSEL (Henri-Léon-Joseph), sous-directeur de la Société industrielle et de commerce, à Odessa (Russie).
ROY (Edmond) ✵, rue de Luxembourg, 3.
ROZE (Eugène), fabricant de toiles cirées, rue du Château-d'Eau, 60.
ROZYCKI (Stanislas), au Creuzot, rue Montchanin, 11 (Saône-et-Loire).
RUBIN (Arthur), rue de Navarin, 22.
RUEFF (Léon), rue de Châteaudun, 10.
RUOLZ (de), O. ✵ G. O. ✵ C. ✵, inspecteur général des chemins de fer, rue Servandoni, 23.
RYCERSKI (Félix-Lucien-Antoine), à Bochum (Westphalie).

S

MM. SAINT-JAMES (Charles), inspecteur de la voie au chemin de fer du Nord, faubourg Sainte-Croix, 33, à Namur (Belgique).
SALADIN (Émile), rue de Bellevue, 2, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
SALESSE (Paul-Alphonse), inspecteur de la traction et du matériel, rue de l'Alma, 22, à Tours (Indre-et-Loire).
SALLERON (Ernest), architecte, à Sens (Yonne).
SALOMON (Louis-Antoine-Marie), rue de Laval, 22.
SALVETAT (Alphonse) ✵ ✠ ✵, chef des travaux chimiques, à la Manufacture nationale de Sèvres (Seine-et-Oise).
SANDBERG (Christer-Geter), 19, Great George street, Westminster, S. W., à Londres (Angleterre).
SAUTTER (Louis) ✵, constructeur de phares lenticulaires, avenue de Suffren, 26.
SAUVAN-DELEUZE (Louis), ingénieur en chef de la Société de construction des chemins de fer ottomans, à Schoumla, par Rustzuk (Turquie d'Europe).
SAVALLE (Désiré), constructeur, avenue Uhrich, 64.
SAVY (Léopold), ingénieur, aux mines de Graissessac (Hérault).
SCELLIER (Henri), fondeur, à Voujaucourt, près Montbéliard (Doubs).
SCHABAVER (François), constructeur de machines, à Castres (Tarn).
SCHAECK (Augustin-Clément), quai de Jemmapes, 84.
SCHEIDECKER (Léon), à Lutzelhausen (Alsace).
SCHIVRE (Jean-Pierre), directeur des ateliers du Grand-Hornu, près Mons (Belgique).
SCHIVRE (Gustave-Georges-Henri), ingénieur aux ateliers du Grand-Hornu (Belgique).
SCHLINCKER (Michel-A.), maître de forges, à Creutzwald (Lorraine).

MM. Schlumberger (Henri) ✻, au château de Guebwiller (Alsace).
Schmerber (Jean), à Tagolsheim, par Altkirch (Alsace).
Schmoll (Adolphe), entrepreneur de travaux publics, Wollzeile, 10, à Vienne (Autriche).
Schneider (Eugène), G. O. ✻ ✻ ✻ ✻, rue Boudreau, 1.
Schwendner (Alexandre), rue Sainte-Catherine, 50, à Odessa (Russie).
Seebold (Lothaire-François), C. ✻ O. ✻ ✻ ✻, Bidebarieta, 12, 2e peso, à Bilbao (Espagne).
Séguin (Paul), rue de la Ville-l'Évêque, 40.
Seiler (Albert-Louis), boulevard de Magenta, 26.
Selle (de) (Albert-Marie), château de Fougères, par Forcalquier (Basses-Alpes).
Sepres (de) (Henri-Robert-Yves), 9, calle de Campomanes Tercero derecha, à Madrid (Espagne).
Ser (Louis) ✻, rue Soufflot, 25.
Séraphin (Charles-André), constructeur, faubourg Saint-Martin, 172.
Sérafon ✻, cité Pigalle, 6.
Sergueff (Nicolas) ✻, rue Delaborde, 34.
Serment (Frédéric-Louis), rue de la Darse, 9, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Serres (de) Wierffinski (Auguste), sous-directeur des travaux aux chemins de fer de l'État, Kuntnez Ring, 3, à Vienne (Autriche).
Serverac (Jacques-Paul), constructeur de matériel roulant pour chemins de fer, boulevard Macdonald, 1.
Servier (Édouard), avenue Serpenoise, 9, à Metz (Lorraine).
Seyrig (Théophile), associé de la maison Eiffel et Cie, place Wagram, 2.
Siéber, rue Trézel, 1, à Batignolles.
Siemens (William), métallurgiste, rue de Châteaudun, 11.
Smith (Louis-Christian-Henri), rue de la Chaussée-d'Antin, 45.
Simon (Édouard), directeur de filature, rue Saint-Maur-Popincourt, 74.
Simon (Henri), 7, Saint-Peters square, à Manchester (Angleterre).
Simon (Gustave), au Creuzot (Saône-et-Loire).
Simons (Paul), au Cateau (Nord).
Sparre (Pierre-Ambson), O. ✻ ✻, ingénieur-mécanicien, rue Abbattucci, 7.
Somasco (Charles), rue du Chemin-Vert, 42.
Sonolet (Gustave-Auguste), rue Judaïque, 65, à Bordeaux (Gironde).
Soulié (Émile-Léon), boulevard Malesherbes, 60.
Soupey (Henry), rue de la Bruyère, 14.

MM. Stapfer (Daniel), constructeur-mécanicien, boulevard de la Mayor, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Stilmant (Philippe-Louis-Aimé), fabricant de freins, rue de Rome, 129.

Stoclet (Victor), chaussée Charleroi-Saint-Gilles, 5, à Bruxelles (Belgique).

Stummer (de) (Charles), Elisabeth strasse, 11, à Vienne (Autriche).

Sulzberger-Ziegler (Henry), constructions en bois, à Winterthur (Suisse).

T

MM. Taillades (des) (Henri), avenue des Ternes, 65.

Taillandier (François), chef de section au chemin de fer de Ciudad-Real à Badajoz, à Puertollano (Espagne).

Taillard (Ernest) ✻ ✻ ✻, rue Rossini, 4.

Tardieu (Henri-Ernest), rue Neuve, 17, à Compiègne (Oise).

Terrier (Paul-Jacques-Victor), secrétaire général de la Compagnie des travaux publics, rue de Provence, 56.

Tesse (Paul), rue de Maubeuge, 18.

Tessie du Motay (Cyprien-Marie), boulevard de Courcelles, 118.

Tétard (François), boulevard Montparnasse, 123.

Thauvin (Pierre-Jules), à Pise-Fontaine près Triel (Seine-et-Oise).

Theurkauff (Achille-Henri), boulevard du Palais, 11.

Thibaudet (James-Nicolas), à l'usine à gaz, à Arenc, banlieue de Marseille (Bouches-du-Rhône).

Thibault (Louis-Marie), fabricant de papiers, à Troyes (Aube).

Thirion (Charles), boulevard Beaumarchais, 95.

Thomas (Jules-Émilien), rue de Cologne, 154, à Bruxelles (Belgique).

Thomas (Pierre), rue Prado, 111, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Thomas (Frédéric), à la gare de Toulouse (Haute-Garonne).

Thomas (Max), quai Voltaire, 11.

Thomas-Grellou (Léon), fabricant de produits chimiques, quai de Javel, 83.

Thomé de Gamond, rue de Tivoli, 27.

Thouin (Charles) ✻ ✠ ✻, rue de Dunkerque, 20.

Tiquet (Pierre-Maurice-Gustave), maître de forges, à Vesoul (Haute-Saône).

Tournade de Noaillat (Lucien-H.-Amable) ✻, rue de Rome, 46.

Tourgeon (Joseph-Barthélemy), aux charbonnages de Mondragon (Vaucluse).



MM. TOURON (Roch-Sylvain), rue de Dunkerque, 18.

TRÉLAT (Émile), O. ✻, boulevard Montparnasse, 136.

TRESCA (Henri), O. ✻ ✻ ✻ ✠, sous-directeur au Conservatoire des Arts et Métiers, rue Saint-Martin, 292.

TRESCA (Alfred), rue Saint-Martin, 292.

TRESCA (Gustave-Jules), rue Saint-Martin, 292.

TRÉMEAU (Alexandre-Henry-Auguste), aux forges de Bigny (Cher).

TREVELLINI (Louis), à Florence (Italie).

TRIDON (Victor), chef du service technique de la Société ottomane des travaux publics, 8, Humboldt, Elias strasse, à Dresde (Saxe).

TRONCHON (Jean-Anatole), impasse Mairet, 6, à Meaux (Seine-et-Marne).

TRONQUOY (Camille), ingénieur aux chemins de fer du Midi, boulevard Haussmann, 54.

TURCK (Michel), rue Bernouillé, 11.

U

MM. UHAGON (Pierre-Pascal), ingénieur de la Société minière et métallurgique de Linares, province de Jaen (Espagne).

ULENS (Léon), rue du Trône, 8, à Bruxelles (Belgique).

URBAIN (Victor), boulevard Beaumarchais, 30.

URBAN (Maurice-Pierre), ingénieur en chef, directeur de la traction et du matériel du chemin de fer du Grand-Central Belge, rue de la Loi, 102, à Bruxelles (Belgique).

V

MM. VAESSEN, directeur des ateliers de la Société Saint-Léonard, à Liége (Belgique).

VALENTIN (Léopold) ✻ ✻, rue Galilée, 6, à Bruxelles (Belgique).

VALLEZ (Alphonse), rue des Anges, 10, à Valenciennes (Nord).

VALTON (Ferdinand), rue de Londres, 44.

VANDEL (Émile), maître de forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).

VANDERHEYM (Eugène-Napoléon), directeur des forges d'Urville (Haute-Marne).

MM. VAUGARNIE (Victor), à Patras (Grèce).
VAUTHIER, rue Saint-Lazare, 11.
VAUTIER (Émile), administrateur de l'usine à gaz, rue Centrale, 46, à Lyon (Rhône).
VAUVILLIER (Laurent-Louis), secrétaire de la direction générale des chemins de fer portugais, à Lisbonne (Portugal).
VÉE (Léonce-Émile), ingénieur expert près les tribunaux, rue de Rome, 61.
VEGNI (Angelo), C. ✱ ✱ ✱, via San Nicolo, 131, à Florence (Italie).
VELLUT (Félix-Léon-Célestin) ✱, directeur des ateliers de la Sambre, à Charleroi (Belgique).
VÈNE (Philippe), à Lapoularie, par Castres (Tarn).
VERDIÉ ✱, gérant des aciéries et forges de Firminy (Loire).
VERGNES (Paul-Eugène), chef de service de la construction de la ligne d'Angoulême à Limoges, avenue du Midi, 17, à Limoges (Haute-Vienne).
VÉRITÉ (Augustin-Lucien), horloger, à Beauvais (Oise).
VERRIER (Charles-Joseph-Auguste), chef des chantiers et ateliers de Bacalan, rue de Lormon, 5, à Bordeaux (Gironde).
VERRINE (Louis-Justin), ingénieur du service municipal de la ville de Caen, rue des Carmélites, 38, à Caen (Calvados).
VESTRAET (Louis), rue du Parc, 25, à Charenton-le-Pont (Seine).
VIDARD (Jean-Baptiste), inspecteur du matériel et de la traction aux chemins de fer de l'Ouest, rue de Moscou, 50.
VIELLIARD (Léon-Jean), rue Lafayette, 211.
VIEILLARD (Jules-André-Albert), fabricant de faïences et porcelaines, quai de Bacalan, 77, à Bordeaux (Gironde).
VIGAN (Eugène-Médéric), à l'usine à gaz, cours de Vincennes, 45.
VIGNIER (Pierre-Auguste) ✱, rue Lacondamine, 98, à Batignolles.
VIGREUX (Léon), rue de Rivoli, 16.
VILLENAUT (de) (Adolphe), rue Saint-Lazare, 20.
VILLERMÉ, à Trelon (Nord).
VINIT (Pierre-Arsène), inspecteur du matériel au chemin de fer de Lyon, rue de Greffulhe, 9.
VIOLET (Adolphe-Charles-Henri), directeur des usines de Belvoye, près Dôle (Jura).
VIOLLET-LE-DUC père (Eugène-Emmanuel), O. ✱ ✱, architecte, rue Condorcet, 68.
VIRLA (Paul), rue de Châteaudun, 34.
VIRON (Charles-Louis), chef de section au chemin de fer d'Orléans, à la gare de Tours (Indre-et-Loire).
VITALI (Philippe), entrepreneur, rue Castiglione, 8.
VIVIEN (Armand), chimiste, rue Sainte-Anne, 54, à Saint-Quentin (Aisne).

MM. VLASTO (Ernest), chez M. Antoine Vlasto, directeur de la banque de Constantinople (Turquie).
VOISIN (Placide-Eugène), rue Saint-Honoré, 414.
VOJACEK (Ladislas), ingénieur au chemin de fer Nord-Est suisse, à Nordostbahuhof, à Zurich (Suisse).
VORUZ aîné ✻, constructeur, à Nantes (Loire-Inférieure).
VUIGNER (Henri-Louis), rue de l'Université, 30.
VUIGNER (Adrien), rue de Lille, 46.
VUILLEMIN (Émile) ✻, directeur des Mines d'Aniche (Nord).
VUILLEMIN (Louis-Charles) ✻ O. ✻ ✠ ✻, ingénieur-conseil du matériel et de la traction au chemin de fer de l'Est, rue de Vigny, 1.

W

MM. WALL ✻, rue du Quatre-Septembre, 16.
WALLAERT (Auguste), boulevard de la Liberté, 23, à Lille (Nord).
WATSON (Joseph-Jean-Guillaume), place Vendôme, 16.
WATTEVILLE (de) (Charles-Louis), rue de Rennes, 105.
WEIBEL (Jules-Henri), constructeur d'appareils de chauffage, Tranchées de Rive, rue de Malagnou, à Genève (Suisse).
WEIL (Frédéric), O. ✻, chimiste expert, rue des Petites-Écuries, 13.
WELTER (Jean-Baptiste-Jacques), boulevard Mazas, 30.
WENDEL (de) (Paul-François-Henri), maître de forges, à Moyeuvre (Alsace-Lorraine).
WEST (Auguste-Émile), chef des travaux au laboratoire d'Essais à la C[ie] des chemins de fer de l'Ouest, rue Bonaparte, 13.
WEYHER (Charles-Louis) ✻, constructeur de machines, route d'Aubervillers, 50, à Pantin (Seine).
WHALEY (Georges), ingénieur des ateliers des chemins de fer de l'Ouest, à Sotteville-lez-Rouen (Seine-Inférieure).
WIARD (Léopold), teinturier, à Cambrai (Nord).
WILLEMS (Joseph), rue du Progrès, 36, à Bruxelles (Belgique).
WISSOCQ (Alfred), ingénieur de l'atelier central du chemin de fer du Nord, faubourg Poissonnière, 96.
WOHLGUEMUTH, ingénieur du draguage du Port, calle Alta de S[n] Pedro, n° 15, 3. P°, à Barcelone (Espagne).
WOYCIECHOWSKI (Lucien), directeur de la Société des chemins de Seine-et-Marne, rue Chaptal, 18.
WURGLER (André), rue de Rome, 66.
WOESTYN (Alphonse-Sevin-Cornill), fabricant de sucre, boulevard Haussmann, 80.

X Y Z

M. **Xavier** (Jean), rue de Châteaudun, 35.

MM. Yvert (Léon), ingénieur expert, rue de Londres, 4.
Yvon-Villarceau (Antoine), ✻ ✻ ✻, avenue de l'Observatoire, 18.

M. Ziegler (Jean-Jacques), rue de Courcelles, 50.

Membres Associés.

MM. Agache (Édouard), filateur, à Lille (Nord).
André (Nicolas-Oscar), de la maison André et Fleury, constructeurs de combles métalliques, rue de Sablonville, 7 et 9, à Neuilly-sur-Seine.
Babut (Pierre-Jules), agent général des charbonnages de l'ouest de Mons, avenue Trudaine, 13.
Barbedienne, C. ✻, bronzes d'art, boulevard Poissonnière, 30.
Belin (Alphonse), à Brie-Comte-Robert (Seine-et-Marne).
Bizot (Emmanuel-Eugène) ✻, rue de Lyon ,7, à Lyon (Rhône).
Blanchet (Aristide-Paul), à Herrichemont (Cher).
Borrel-Fontany (Amédée-Philippe), horloger-mécanicien, rue Neuve-des-Petits-Champs, 47.
Brichaut (Auguste), O. ✻ ✻ ✻ ✻, rue Saint-Paul, 9.
Chabrier (Fortuné), avenue de la Reine-Hortense, 5.
Chaize (L.-El.), administrateur délégué de la C[ie] des Bateaux-Omnibus, route de Versailles, 125.
Chateau, associé de la maison Farcot, au port Saint-Ouen (banlieue).
Chavannes, boulevard Haussmann, 134.
Chavassieu (Jean-Baptiste), député, rue de l'Université, 22.
Claudin (Henri), armurier, boulevard des Italiens, 38.
Cordier (Henry-Georges), armurier, à Bellefontaine, district de Porrentruy, canton de Berne (Suisse).
Coutant (L.-Eug.), maître de forges, rue Nationale, à Ivry (Seine).
Coutelier (Edmond-Jules), fabricant d'ornements estampés, boulevard Richard-Lenoir, 74.

MM. Coutin (Jules-Henri), inspecteur du service commercial au chemin de fer de l'Ouest, rue d'Amsterdam, 19.

Dehaynin (Camille), faubourg Saint-Martin, 12.

Desouches (Arthur-François-Constantin), constructeur de voitures, avenue des Champs-Élysées, 40.

Doumerc (Auguste-Camille-Jean), secrétaire général de la Compagnie des allumettes chimiques, rue de la Chaussée-d'Antin, 66.

Dufay (Auguste), rue Neuve-Saint-Merri, 12.

Durand (Eugène), rue de l'Arbre-Sec, 19, à Lyon (Rhône).

Fauquet (Octave), à Oissel (Seine-Inférieure).

Foucart (Charles), rue Baudin, 24.

Galland (Nicolas), O. ✻, à Nancy, château de Sauvey (Meurthe).

Gariel (Ernest), fabricant de ciment de Vassy, boulevard Haussmann, 85.

Garnier (Paul-Casimir), fabricant d'horlogerie, rue Taitbout, 16.

Géneste (Eugène), ✻ C. ✻ ✻, constructeur, rue du Chemin-Vert, 34.

Gérard (Gustave-Eugène), rue Condorcet, 70.

Gevelot (Jules), député de l'Orne, rue de Clichy, 10.

Giquel (Prosper) ✻, directeur de l'Arsenal, à Fou-Tcheou (Chine).

Giroud (Henri), fabricant de régulateurs, rue des Petits-Hôtels, 27.

Gueldry (Victor-Henri), gérant des établissements de la Compagnie des forges d'Audincourt, rue Amelot, 64.

Hermann-Lachapelle (Jules), const., faubourg Poissonnière, 144.

Huguin (Étienne-Jean), rue de Clichy, 39.

Jourdain (Frédéric-Joseph), rue de Penthièvre, 7.

Jullien (Alexandre), rue Sainte-Hélène, 8, à Lyon (Rhône).

Laveissière (Jules-Joseph), ✻, rue de la Verrerie, 58.

Lebaudy (Jules), raffineur, rue de Flandre, 19.

Le Cyre (Alfred), rue Neuve-Saint-Augustin, 22.

Lemercier (le comte) (Anatole), O. ✻, président du Conseil d'administration de la Compagnie des chemins de fer des Charentes, rue de l'Université, 18.

Lemoine (Auguste), O. ✻ ✻, fondé de pouvoirs de la maison Cail, rue de la Pompe, 76.

Léon (Alexandre), armateur et maître de forges, cours du Chapeau-Rouge, 11, à Bordeaux (Gironde).

Lesseps (de) (Ferdinand), G. C. ✻ ✻ ✻, président de la Compagnie universelle du canal de Suez, rue Richepance, 9.

Lissignol (Théodore), chef du service industriel de la Société générale, rue Neuve-des-Petits-Champs, 77.

Luchaire (Léon-Henri-Victor), constructeur d'appareils pour phares, rue Érard, 27.

Penaud (Charles-Alphonse), rue Castellane, 14.

MM. MARTELLIÈRE (de la) (Camille-Alfred), rue Béranger, 21.
MARTIN (Auguste-Maximilien), fabricant de verreries et d'émaux, avenue de Paris, 275, à Saint-Denis.
MENIER (Émile-Justin), ✻, rue Sainte-Croix-de-la-Bretonnerie, 37.
MICHELET (Hippolyte), ✻ ✻ ✻, chef de bataillon à l'état-major du génie, à Granville (Manche).
MOYSE (Maurice), C. ✻, rue Saint-Pétersbourg, 4.
NEVEU (Étienne), rue Saint-Martin, 227.
NICAISE (Charles), fabricant de boulons, à La Louvière (Belgique).
OESCHGER (Louis-Gabriel), ✻, M^d de métaux, rue Saint-Paul, 28.
PELOUZE (Eugène-Philippe), ✻, membre du comité de la Compagnie parisienne du gaz, rue de La Borde, 34.
PEREIRE (Isaac), O. ✻ ✻, président du Conseil d'administration de la Société autrichienne impériale et royale, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
PIAT (Albert-Charles), fondeur-mécanicien, rue Saint-Maur, 49 et 98.
PIMENTEL (Joaquim-Goldino), rue du Roi, 16, à Anvers (Belgique).
POIRRIER (Alcide-François), ✻, teinturier, rue Saint-Lazare, 23.
POULAIN (Pierre-Claude), O. ✻, commandant du génie, à Salins (Jura).
RENOUARD DE BUSSIÈRE (le baron Alfred), directeur de la Monnaie, quai Conti, 11.
REVERCHON (Honoré), directeur des forges d'Audencourt (Doubs).
ROBERT DE BEAUCHAMP (Louis-Évariste), C. ✻, rue de Rovigo, 7.
ROBIN (Théodore), rue François Ier, 1.
ROYER (Victor-Jean-Baptiste), maître de forges à Châlons-sur-Marne (Marne).
SOMMIER (Alfred), rue de Ponthieu, 57.
VIGUERIE (Ernest), avenue Joséphine, 81.
ZBYSZOWSKI (Ladislas), rue Saint-Dominique, 190.
ZELLER (Constant), à Ollwiller, par Soultz (haute Alsace).

M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 20.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de l'Ouest, rue d'Amsterdam, 3.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, rue de Londres, 8.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, rue Saint-Lazare, 88.

Secrétaire-Archiviste.

M. HUSQUIN DE RHÉVILLE ✻, cité Rougemont, 10.

LISTE

DES MEMBRES DONATEURS

ET

DES MEMBRES EXONÉRÉS

Liste des Membres de la Société qui se sont exonérés et qui ont fait une donation de 100 fr. au moins.

MM.	fr.
Bergeron.	100
Biver (Hector).	100
Bois (Victor)[1].	100
Bonnet (Auguste-Félix)[1].	200
Bréguet.	500
Bricogne (Charles).	500
Buddicom.	600
Caillet.	600
Caillot-Pinart.	100
Calla.	500
Castor[1].	1000
Chabrier (Ernest).	600
Chevandier de Valdrome (E.-J.)	600
Chobrzynski (Jean-Pierre-Ch.).	600
Chemin de fer de l'Est.	1600
Chemin de fer du Nord.	1600
Chemin de fer de Lyon.	1600
Chemin de fer d'Orléans.	1600
Chemin de fer de l'Ouest.	1600
Claparède (Frédéric-Moyse).	500
Crétin (Gabriel).	100
De Dion (Henri).	300
Deligny (Ernest).	200
Dufournel (Alphonse).	100
Durval (Maurice-Charles).	200
Farcot (Joseph).	800
Faure (Auguste)[1].	500
Flachat (Eugène)[1].	600
Fontenay (Tony).	600
Forquenot (Victor).	600
Frichot.	100
Gaudet.	100
Giffard.	2000
Gottschalk.	500
Guérin de Litteau (Edgar).	100
Hamers.	100
Houel.	1000
Lalo.	100
Krupp (Alfred).	2000
Lasvignes (Louis)[1].	100
Laurent (Charles)[1].	200
Lavalley.	400
Le Brun (Raymond-Louis).	100
Letestu.	124
Loustau (George).	100
Love (George).	500
Maire (Armand).	100
Martin (Charles-William).	500
Mathieu (Henri).	100
Mayer (Ernest).	400
Meiner.	400
Mesdach.	100
Molinos (Léon-Isidore).	600
Mony (Stéphane).	600
Pereire (Émile)[1].	1000
Pereire (Isaac).	1000
Pereire (Henri).	1000
Pereire (Émile) fils.	1000

1. Décédé.

MM.	fr.
Perreire (Eugène).	500
Perdonnet (Auguste)[1].	1 000
Petiet (Jules)[1].	2500
Petin.	100
Picard.	100
Pot (Charles).	100
Pothier (Francis).	300
Pronnier (Charles).	200
Raspail (Émile-Jules).	100
Rey (Louis-Pierre-Félix).	100
Rhoné (Charles-Léopold)[1].	600
Richard (Jean-Louis).	100
Rosies.	100
Schabaver.	100
Séguin (Paul).	1000
Sommeiller[1].	176
Thouvenot[1].	100
Vuigner (Émile)[1].	1000
Vuillemin (Louis).	500

Liste des Membres qui sont donateurs de 100 fr. et plus, mais non exonérés.

MM.	fr.
André (Nicolas).	100
Armengaud aîné père.	100
Armengaud jeune père.	100
Armengaud fils jeune (Jules).	100
Barroux (Léon).	100
Beaussobre (de) (Georges-E.).	100
Belleville.	100
Blutel.	100
Boire.	100
Borgella (Édouard).	100
Boudsot[1].	100
Boutmy.	100
Chapelle[1].	100
Delebecque.	100
Dombrowski.	100
Dru (Saint-Just) (Antoine).	100
Dubuc.	100
Estoublon.	200
Farcot père et fils.	600
Fleury (Henry).	100
Fontenay (de) (Eugène).	100
Fourneyron[1].	5000
Garnier (Paul)[1].	100
Gouvy (Alexandre).	100
Guillaume (Henri).	100
Haas (Henri).	100
Hamoir.	100
Jeannenay[1].	100
Lainé.	100
Lainé fils.	100
Lavallée[1].	500
Le Roy (Amable).	100
Legavriand (Paul-Floride).	100
Luchaire.	100
Manby.	250
Marsillon (Jean).	200
Martin (Louis).	100
Meyer (J.-J.).	144
Mitchell (William-Jean-B.).	100
Nancy (Alfred).	100
Nordling.	600
Pinat (Léon).	100
Plazanet.	100
Poncelet (le Général)[1].	100
Reytier[1].	200
Schneider.	500

1. Décédé.

Liste des Membres qui se sont exonérés

MM.

Aboilard (François-Auguste-Th.).
Agache (Émile).
Agudio (Thomas).
Alcan (Michel).
Alquié (Auguste-François).
Albaret (Eugène).
Arbulu (de) (José Maria).
Arson (Alexandre).

Badois (Edmond).
Barrault (Émile).
Barros Barreto.
Battaille Straatman (Jean).
Bélanger (Charles-Eugène).
Belpaire (Alfred).
Benoit-Duportail (Armand).
Bévan de Massy (Henri).
Birlé (Albert).
Blanche (Auguste).
Bleynie (Martin).
Blonay (de) (Henri).
Blondeau (Paul-François).
Boivin (Émile).
Bonnet (Désiré).
Bonnet (Édouard).
Bornèque.
Bougère (Laurent).
Bournique[1].
Bourdon (Eugène).
Bourdon[1].
Bourset.
Branville (de) (Paul).
Bridel (Gustave).
Brunon.
Brunt (John).
Brustlein (H.-Aimé).

MM.

Bullot.
Bussière (de)[1].

Callon (Charles).
Capuccio (Gaetano).
Cail (Émile).
Cazalis de Fondouce (Paul).
Cazes (Edwards-Adrien).
Cernuschi.
Chabrier (Fortuné).
Chauveau des Roches (Arthur).
Chuwab (Charles).
Clément-Desormes.
Coene (de) (Jules).
Cousolat.
Cosyns.
Comberousse (de) (Charles).
Cornaille (Alfred).
Cuinat (Charles).

Daguerre d'Ospital (Léon).
Dallemagne.
Dambricourt (Auguste).
Debarle (Louis).
Debauge (Jean-Louis)[1].
Deffosse (Étienne-Alphonse).
Degousée père[1].
Degousée (Edmond).
Dehaynin (Camille).
Delannoy (François-Albert).
Demanest (Edmond).
Delpech[1].
Delpech (Ferdinand).
Demimuid (René).
Deniel.
Desnos (Charles).

1. Décédé.

Suite de la liste des Membres qui se sont exonérés.

MM.

Doury (Paul).
Dru (Léon-Victor-Edmond).
Dubied (Henri-Édouard).
Dubois.
Durenne aîné.
Durenne (Antoine).
Dupuy (Léopold-Philibert).
Duval (Raoul).
Elwell [1].
Elwell (Thomas).
Ermel (*Frédéric*).
Evrard (Augustin) [1].

Flachat (Yvan).
Fiévet (Ernest-Emile).
Fournier.

Gaget.
Gandillot (Jules).
Ganneron (Edmond).
Gaveau (Alfred-Frédéric) [1].
Gayrard (Gustave).
Germon (Alexis).
Geyler (Alfred-Édouard).
Gil Claudio.
Gillotin.
Gislain.
Goschler (Charles).
Gottereau (Jean-Marie).
Goumet.
Grall (Isidore).
Grenier (Achille) [1].
Guérin [1].
Guettier.
Guntz (Charles).

Henri-Lepaute, fils (Édouard-Léon).
Hodgson (Jones).
Houlbrat (Abel).

MM.

Huet (Alfred).
Hunebelle.

Jeanson (Charles-Marie-Auguste).
Jolly (César).
Joly [1].
Jordan (Samson).
Jourdain.
Juanmartinena (de) (José).
Jullin (Aimé).

Koch.
Kronenberg (Ladislas).

Lacombe [1].
Lacretelle (Claude-Étienne).
Langlois (Auguste).
La Salle (Auguste).
Lasson.
Laurens (Camille).
Laveissière (Émile-Jean).
Laveissière (Ernest) [1].
Laveissière (Jules).
Lebon (Eugène).
Lecherf.
Le Cler (Achille).
Lejeune (Charles-Émile).
Lemercier (Anatole).
Level (Émile).
Lévi-Alvarès (Albert).
Limet (Hippolyte).
Longraire (Léopold-François).
Lotz-Brissonneau.

Maldant.
Marin (Paul).
Marle (Paul).
Marlier (Paul-Théodore-Eug.) [1].
Martenot.
Mathias (Félix).

1. Décédé.

Suite de la liste des Membres qui se sont exonérés.

MM.

Mathieu (Ferdinand).
Maure (Edmond).
Mazeline [1].
Menier (Émile).
Mesmer.
Michelet (Émile).
Mignon.
Mirecki (Antoine-Salwomir).
Monnot (Paul-Charles).
Muller (Émile).

Nozo (Alfred) [1].

Parlier (Jean-Louis-Édouard).
Péligot (Henri).
Pélegrin (Henri-Auguste).
Pépin-Lehalleur [1].
Pérignon.
Périssé (Jean-Sylvain).
Petre.
Pichault (Stéphane).
Piet (Jules).
Pihet fils.
Pierre (Antoine).
Piquet (Alphonse).
Poiret (Émile).
Poncelet (Antoine).
Pottier (Ferdinand).
Poulot [1].
Pury (de) (Gustave).

Reymond (Francisque).
Riche (Armand).
Rochette (de la) (Jérôme).
Rouart.

MM.

Sauvan-Deleure (Louis).
Saint-James.
Ser (Louis).
Serres (de).
Scheidecker (Léon).
Simon (Édouard).
Simon (Henri).
Smith (Louis-Christian-Henri).
Sommier.
Sulbeger-Ziegler.

Tesse.
Thomas (Léonce) [1].
Thomas-Grellou (Léon).
Thomas (Max).

Vaessen.
Valentin (Léopold).
Villermé.
Verrine (Louis).
Viguerie.
Voruz.

Wahl.
Watteville (de) (Charles).
West (Paul) [1].
Whaley (Georges).
Wendel (de).
Wiart.
Wissocq (Alfred).
Wurgler (André).

Yvert (Léon).
Yvon Villarceau (Antoine).

Ziegler (Jacques).

1. Décédé.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER, FÉVRIER, MARS 1875)

N° 29

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Installation des Membres du Bureau et du Comité, discours d MM. Jordan et Lavalley* (séance du 8 janvier, page 62).

2° *Dynamite* (Communication de M. Brüll sur la), séances des 8 et 22 janvier, pages 76 et 79).

3° *Incendie* (Canalisation d'eau dans les grands ateliers pour le cas d'), par M. Génissieux (séance du 22 janvier, page 82).

4° *Chemin de fer métropolitain* (Lettre de M. Letellier relative à son projet de) (séance du 22 janvier, page 83).

5° *Tunnel sous la Manche*, par M. Lavalley (séance du 22 janvier, page 84).

6° *Losange articulé* du colonel Peaucellier, par M. Lemoine (Émile) (séance du 5 février, pages 85 et 246).

7° *Carte hydrologique* du département de Seine-et-Marne, dressée par M. Delesse, présentée par M. Lippmann (séance du 5 février, page 87).

8° *Pont d'Andé sur la Seine* (Reconstruction du), par M. Bonnin (séance du 5 février, page 91).

9° *Machines les plus remarquables* de l'Exposition de Vienne en 1873, suite de l'analyse de l'ouvrage de M. Fontaine, par M. Marché (séance du 5 février, page 93).

10° *Canal Saint-Louis* et les embouchures du Rhône, par M. Germain, ingénieur hydrographe (séance du 19 février, page 94).

11° *Navigation aérienne*, par M. de Bruignac (séance du 5 mars, page 103).

12° *Ponts en fonte* (Reconstruction de quelques) qui avaient été détruits pendant la guerre, par M. Badois (séance du 19 mars, page 114).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Bonnin, membre de la Société, un Mémoire sur la *Reconstruction du Pont d'Andé sur la Seine*, accompagné de quatre photographies.

2° De M. Delesse, ingénieur en chef des mines, un exemplaire de sa notice sur la *Carte agricole de France*.

3° De M. le Ministre des travaux publics, un exemplaire de la première partie d'un ouvrage sur les *Ports maritimes de la France*.

4° De M. Hittorff, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur la *Question des sucres au point de vue international*.

5° De MM. Goussard de Mayolle et Armand Ferré, ingénieurs, un exemplaire de leurs rapports au *Concours international de moissonneuses et de faucheuses-moissonneuses, à Mettray*.

6° De M. Biceschi, membre de la Société, une Note sur le *travail industriel du sorgho sucré*.

7° De M. Germain, ingénieur hydrographe, un exemplaire de son rapport sur *l'état de l'embouchure du Rhône et du golfe de Foz en* 1872.

8° De M. Poulain, chef de bataillon du génie, membre de la Société, un exemplaire de son Mémoire sur *l'assainissement des littoraux marécageux avec le concours des marées*.

9° De M. J. Laurent, garde-mines principal, un exemplaire de son *Album du constructeur des chaudières à vapeur*.

10° De M. Desnos, membre de la Société, un exemplaire d'une notice de M. Chateau, ingénieur-chimiste, sur les *eaux des égouts de Paris et les eaux ménagères des fabriques qui y sont déversées journellement.*

11° *Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro du deuxième trimestre 1874 de son bulletin.

12° *A Magyar Mémök-Egyesület Közlonye*, les numéros du troisième trimestre 1874.

13° De la *Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers*, les numéros de son bulletin du quatrième trimestre 1874.

14° De la *Société Scientifique industrielle de Marseille*, les numéros de l'année 1874 de son bulletin.

15° *Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre*, les numéros 1, 2, 3, et 4 de 1874 de son bulletin.

16° *Société des Arts d'Edimburgh*, le premier numéro de 1874 de son bulletin.

17° De l'*Encyclopédie d'architecture*, le numéro du quatrième trimestre de 1874.

18° *De l'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures*, les numéros du premier trimestre de son bulletin de l'année 1875.

19° *Institution of Mining Engineers*, les numéros de leurs *Transactions.*

20° De l'Institution *of Mechanical Engineers*, les numéros du deuxième trimestre 1874 de son bulletin.

21° *Annales industrielles*, les numéros du premier trimestre 1875.

22° De la *Société des Ingénieurs civils d'Écosse*, son bulletin du troisième trimestre de 1874.

23° De la *Société industrielle de Rouen*, les numéros de son bulletin pour l'année 1874.

24° *De la Société de Physique*, les numéros de son bulletin du troisième trimestre de l'année 1874.

25° Du journal *le Courrier municipal*, les numéros du premier trimestre 1875.

26° Du journal *le Moniteur des chemins de fer*, les numéros du premier trimestre 1875.

27° De la *Gazette des Architectes*, les numéros du premier trimestre 1875.

28° De la *Société industrielle de Reims*, les numéros de son bulletin de novembre et décembre de 1873.

29° De la *Revue horticole*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

30° De la *Gazette du Village*, les numéros du premier trimestre 1875.

31° De la *Société des Ingénieurs autrichiens*, les numéros du troisième trimestre de 1874, de leur *Revue périodique*.

32° Du journal *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, les numéros 5 et 6 de 1874.

33° De la *Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, le numéro du deuxième trimestre 1874 de son bulletin.

34° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du premier trimestre 1874.

35° De la *Revue d'architecture*, les numéros 1 et 2 de l'année 1875.

36° De la Revue *les Mondes*, les numéros du premier trimestre 1875.

37° Du journal *The Engineer*, les numéros du premier trimestre 1875.

38° De la *Société d'encouragement*, les numéros du premier trimestre 1875 de son bulletin.

39° De la *Société de géographie*, les numéros du premier trimestre 1875 de son bulletin.

40° De la *Société nationale et centrale d'agriculture*, les numéros de mai et juin 1874 de son bulletin.

41° Des *Annales des chemins vicinaux*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

42° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

43° De la *Revue des Deux Mondes*, les numéros du premier trimestre 1875.

44° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du premier trimestre 1875.

45° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du premier trimestre 1875.

46° Du journal de la *Revue industrielle*, les numéros du premier trimestre 1875.

47° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du premier trimestre 1875.

48° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du premier trimestre 1875.

49° Du journal *le Cosmos*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

50° De la *Société des Ingénieurs portugais*, les numéros du troisième trimestre 1874 de son bulletin.

51° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du premier trimestre 1875.

52° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du troisième trimestre 1874.

53° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du troisième trimestre 1874.

54° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

55° Du journal *la Houille*, les numéros du premier trimestre 1875.

56° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du premier trimestre 1875.

57° De l'*Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége*, les numéros du deuxième trimestre 1874 de son bulletin.

58° Du journal *Engineering*, les numéros du premier trimestre 1875.

59° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros du troisième trimestre 1874.

60° *Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne*, le troisième numéro de son bulletin de 1874.

61° *Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube*, le tome XV de la quatrième série de son bulletin.

62° *Institution of civil Engineers*, le numéro de leurs *Minutes of Proceedings* de 1874.

63° *Société des Ingénieurs anglais*, le numéro de leurs *Transactions* pour l'année 1874.

64° Du *Comité des forges de France*, le numéro 88 du bulletin.

65° De la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros de juillet, août et septembre 1874 de son bulletin.

66° De l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, les numéros 29 et 30 de son bulletin.

67° Des *Annales des mines*, les numéros des 5e et 6e livraisons de 1874.

68° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

69° De l'*Aéronaute*, bulletin international de la navigation aérienne, le numéro du quatrième trimestre 1874.

70° Du *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

Les Membres admis pendant ce trimestre sont :

Au mois de janvier :

MM. Blondel, présenté par MM. Champouillon, Lavalley et Thévenet.
Bodin, présenté par MM. Alquié, Contamin et Jordan.
Casalonga, présenté par MM. Fontaine, Muller et Tresca.
Gaillaux, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Parent.
Mercier, présenté par MM. Grasset, Marché et Parent.
Moncharmond, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et de Pascal.
Monin, présenté par MM. Fichet, Lemaréchal et Muller.
Soupey, présenté par MM. Jordan, Dupuy et Vée.
Trémeau, présenté par MM. Cornuault, Jordan et Richard.

Au mois de février :

MM. Dallemagne, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Orsatti.
Joubert, présenté par MM. Champouillon, Cotard et Lavalley.
Lecellier, présenté par MM. Champouillon, Cotard et Lavalley.

Comme Membres honoraires :

MM. Engerth, présenté par MM. De Dion, Desgrange, Jordan, Mathias et Molinos.
Raymond, présenté par MM. Jordan, Mathias et Molinos.

Comme Membres associés :

MM. Chaize, présenté par MM. Loustau, Muller et Thomas.
Hermann-Lachapelle, présenté par MM. Boulet, Jordan, Peligot.
Michelet, présenté par MM. Deroide, Gignoux et Jordan.

Au mois de mars :

MM. Colson, présenté par MM. Delsa, Jordan et Vaessen.
Lacroix, présenté par MM. Chabrier, Dupuy et Périssé.
Mercier, présenté par MM. Febvre, Gottschalk et Moreau.

Comme Membres honoraires :

MM. Hawkshaw, présenté par MM. Mathias, Lavalley et Ronna.
Sella, présenté par MM. Chabrier, Lavalley et Ronna.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

Ier TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1875

Séance du 8 Janvier 1875.

Présidence de M. Lavalley.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Jordan, président sortant, prononce le discours suivant :

« Messieurs,

« En prenant pour la dernière fois la parole à ce fauteuil où vous m'avez fait l'honneur de m'appeler il y a un an, je dois, suivant l'usage de notre Société, rappeler d'abord à votre souvenir les collègues que la mort a enlevés pendant l'année 1874 et leur dire ainsi avec vous comme un dernier adieu. Ils sont, hélas ! au nombre de quinze, parmi lesquels deux des fondateurs de notre Société, et un de nos membres honoraires.

« M. Priestley était membre de notre Société depuis son origine en 1848 ; il en avait été le trésorier pendant les trois premières années (1848-1851). Héritier d'un nom illustre, il s'était voué, dès sa sortie de l'École Centrale, en 1836, à la science et à l'enseignement. Répétiteur de mécanique à l'École Centrale pendant près de quarante années, il était connu d'un grand nombre d'entre nous, et je suis certain qu'aucun ne se rappelle sans émotion sa figure sympathique et bienveillante. Comme l'a dit sur sa tombe notre illustre collègue M. Dumas, il était pour les élèves un maître plein de clarté, un juge impartial, le modèle accompli du parfait homme de bien.

« M. Achille Grenier était aussi l'un de nos fondateurs et avait longtemps fait partie des premiers comités de la Société. Sorti de l'École Centrale en 1838, il travailla d'abord au canal de Marseille sous les ordres de M. de Montricher. Au bout de quelques années il entra au service de la Compagnie des chemins de fer de la Méditerranée, commençant ainsi cette carrière d'ingénieur de chemins de fer qu'il ne devait plus abandonner. Après avoir été ingénieur principal aux chemins de fer de l'Est, il fut nommé ingénieur en chef des chemins du Luxembourg et occupa ce poste jusqu'en 1867, année où, les constructions étant terminées, il partit pour les États-Unis. Il y est décédé l'année dernière, et nous ignorons quels furent ses travaux pendant les dernières années de sa vie.

« M. Borgella faisait partie de la Société depuis sa sortie de l'École Centrale en 1854 : il était inspecteur principal du matériel fixe aux chemins de fer de l'Est.

« M. Oswald Thirion, admis dans la Société en 1855, ancien élève de l'École Centrale, était administrateur délégué des chemins de fer du Médoc.

« M. de Mastaing, votre ancien vice-président, était aussi entré dans notre sein en 1855.

« M. Meléon, ancien élève de l'École Centrale, ingénieur civil à Paris, admis en 1858, s'était surtout occupé de l'industrie des matières textiles.

« M. Caster, entrepreneur des travaux publics, bien connu par la construction du pont du Rhin à Kehl, avait été admis en 1859.

« M. Flaud, ancien élève de l'école d'Angers, fondateur et longtemps président de la Société des Anciens Élèves des Écoles d'Arts et Métiers, constructeur-mécanicien à Paris et membre de l'Assemblée nationale, bien connu de nous tous, était membre de la Société depuis 1860.

« M. Paul West, ancien élève de l'École Centrale, admis dans la Société en 1860, s'était occupé surtout de métallurgie et de mines, soit dans les usines, soit au service de la *Compagnie du* chemin de fer de Lyon; il était en dernier lieu attaché à la Société générale des allumettes.

« M. O'Brien, ancien élève de l'École Centrale, admis dans notre sein en 1861, a été attaché d'abord au chemin de fer de Mulhouse, puis à la Grande Société des chemins de fer russes, où il eut à s'occuper aussi de questions maritimes à propos de ports sur la mer d'Azoff. Sa santé l'avait depuis plusieurs années obligé à renoncer à la vie active.

« M. Brunier (1862) était ingénieur civil à Rouen, où il s'occupait surtout de travaux pour l'industrie manufacturière.

« M. Leblond, ancien élève de l'École Centrale, ingénieur civil à Paris, admis dans notre Société en 1867, s'occupait en dernier lieu de la question des chauffages industriels.

« M. Hangard, ancien élève de l'École Centrale, membre de la Société depuis 1868, était secrétaire de la Société générale de construction. Il a pris une part importante, comme chef de service des installations mécaniques, à la construction et à l'organisation de l'Exposition universelle de 1867.

« M. Gaildry, membre de la Société depuis 1872, était un des plus anciens collaborateurs d'Eugène Flachat. Il commença très-jeune sa carrière d'ingénieur sous la direction de ce maître, et participa à ses études d'usines métallurgiques, de machines, de chemins de fer, de docks, etc.; plus tard il fut chargé aux chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (rive droite) des travaux et de la voie. En 1847, il s'établit en Moldavie où il fit les premières études de chemins de fer pour devenir ensuite (1863) inspecteur général des ponts et chaussées du Gouvernement roumain; en dernier lieu il était chargé du contrôle général des chemins de fer de Roumanie. Depuis 1873 il était revenu en France, espérant y rétablir sa santé altérée par la fatigue des travaux.

« Après toutes ces pertes de collègues et d'amis enlevés presque tous prématurément et dans la force de l'âge, nous avons encore à déplorer celle d'un de nos membres honoraires, le savant M. Bélanger. Qu'il me soit permis de consacrer ici quelques instants à notre ancien et vénéré professeur.

« M. J.-B. Bélanger commença sa carrière comme ingénieur des ponts et chaussées ; mais tout en remplissant avec distinction un service actif, il s'occupa constamment

de l'étude des questions d'hydraulique, science pour laquelle il avait une veritable passion.

« En 1836, attiré sans doute par ses amis Coriolis et Mary, tous deux professeurs à l'École Centrale, il y accepta le poste de directeur des études, et peu après, en 1838, il y entreprenait cet enseignement de la mécanique générale et de la mécanique appliquée qui devait être l'objet presque unique de tout le reste de sa longue vie et par lequel il devait si puissamment contribuer à la réussite de cette école, fondée par l'initiative privée, et qui ne pouvait se soutenir que par la réputation des leçons que les élèves y recevaient. Vingt-cinq promotions successives eurent le privilége de suivre son cours. Le succès de cet enseignement fut tel que quelques années plus tard le Ministre des Travaux publics appela Bélanger à remplacer Navier dans la chaire de mécanique à l'École des Ponts et Chaussées. En 1851, il devenait l'un des deux professeurs de mécanique à l'École Polytechnique. C'est en 1864, à l'âge de 74 ans, que Bélanger abandonna le professorat : il avait conservé jusqu'alors, après avoir renoncé à d'autres chaires, celle de mécanique appliquée à l'École Centrale. Il y avait commencé sa carrière de professeur : il voulut la clore dans cette école pour laquelle il avait une affection paternelle. Mais, de sa retraite de Neuilly, il s'occupait toujours avec amour des questions d'enseignement et de mécanique, en publiant les ouvrages si remarquables de lucidité et d'élégance que nous connaissons tous, et en faisant généreusement profiter de sa haute science et de sa profonde expérience tous les anciens élèves qui recouraient à ses conseils. Bélanger est mort à 84 ans, après une carrière noblement et brillamment parcourue : sa place est dès à présent, à côté de ses amis d'enfance, Coriolis et Poncelet, au milieu des illustres fondateurs de la mécanique appliquée.

« Cette funèbre revue étant terminée, je me propose maintenant de résumer brièvement devant vous les travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler, et vous me pardonnerez si je place en premier lieu la métallurgie qui a occupé une assez grande partie de notre temps.

« La fabrication et les propriétés des aciers fondus ont fait l'objet de plusieurs mémoires. M. Euverte, directeur des usines de Terrenoire, dans une très-intéressante communication, nous a mis au courant des résultats obtenus par sa Compagnie pour l'emploi des fers plus ou moins phosphoreux dans la fabrication de l'acier fondu au four Martin-Siemens, pour la refonte en quelque sorte des vieux rails soudés en fer hors d'usage et leur transformation en rails homogènes fondus. M. Lencauchez, à propos de cette communication de M. Euverte, nous a entretenus de diverses fabrications d'acier fondu avec des matières premières phosphoreuses pratiquées ou essayées dans les environs de Paris et dans la Moselle ; il nous a exposé des idées personnelles sur la voie dans laquelle on doit chercher la solution de ce problème métallurgique si important, la déphosphoration des fontes, des fers et des aciers.

« Je ne suis pas suffisamment renseigné sur l'extension qu'a prise le procédé de transformation des vieux rails de fer en rails d'acier fondu pour vous dire exactement ce qui se fait maintenant. Nos Collègues attachés aux Compagnies de chemins de fer pourraient vous en parler mieux que moi, et il est à souhaiter qu'ils le fassent cette année. Je sais cependant qu'il y a plusieurs mois déjà on fabriquait couramment de bons rails satisfaisant à toutes les conditions des cahiers des charges les plus sévères, avec des bains d'acier fondu contenant un tiers de rails phosphoreux.

« Quant à la déphosphoration, je regrette d'avoir à dire qu'il n'existe pas à ma connaissance une solution pratique du problème, quoiqu'elle ait été cherchée avec

une grande persévérance et avec toutes les ressources nécessaires. En dehors de l'épuration bien connue qui s'opère dans le puddlage de la fonte, les seules tentatives qui paraissent avoir été couronnées de quelque succès sont celles de M. Jacobi, directeur de l'usine de Kladno en Bohême, qui lave les minerais de fer contenant le phosphore à l'état de phosphate, dans un liquide acide provenant de la dissolution dans l'eau des fumées de fours où l'on grille les minerais sulfureux.

« M. Marché nous a donné une intéressante étude sur les propriétés mécaniques des aciers et sur leur classification, à propos de l'exposition de l'usine du Creusot à Vienne en 1873. Je souhaite que quelque membre de la Société puisse revenir sur le même sujet en nous faisant connaître les excellents résultats obtenus par cette usine dans la fabrication des aciers à canons, résultats officiellement constatés dans un remarquable rapport de M. le commandant Bobillier qui a été publié. Le Creusot a montré une fois de plus quels services l'industrie particulière pouvait rendre à l'artillerie pour la construction de son matériel : son illustre fondateur et directeur, M. Schneider, peut être pour notre pays ce que M. Krupp a été pour le sien, si l'État se décide enfin à profiter des ressources qui lui sont offertes.

« En Allemagne, les fabricants d'aciers ne s'arrêtent point dans la voie du progrès. M. Cornuault, dans une note succincte, vous a montré l'énorme développement pris par les aciéries de l'autre côté du Rhin, développement qui est tel qu'un maître de forges allemand écrivait dernièrement que son pays possède assez de convertisseurs Bessemer et de fours Martin Siemens pour alimenter d'acier fondu la consommation du monde entier.

« Le même Collègue a traité le sujet des accidents de hauts-fourneaux, à propos de faits de cette nature survenus aux États-Unis.

« Les nouveaux procédés de puddlage mécanique nous ont aussi occupés. A deux reprises M. Molinos nous a entretenus, d'abord du four tournant à axe horizontal et à sole cylindrique, système Danks, et ensuite du four à sole inclinée tournante à axe vertical imaginé par M. Pernot, des forges de Saint-Chamond, et dans lequel on a réussi à fabriquer avantageusement soit du fer par le puddlage de la fonte, soit de l'acier fondu par voie de fusion du fer dans la fonte. Le four de M. Pernot semble appelé à prendre une place importante dans les usines et à leur rendre de grands services.

« On s'occupe en ce moment en Angleterre d'un autre système de four sur lequel M. Lavalley, que vous venez d'appeler à la présidence, m'avait annoncé une communication pleine d'intérêt, je regrette vivement qu'il n'ait pu encore nous la faire : il s'agit du four Crampton, qui travaille à Woolwich depuis une année environ. Outre des dispositions mécaniques ingénieuses et nouvelles, cet appareil présente une application remarquable du mode de chauffage imaginé par son inventeur : le chauffage par insufflation d'air et de combustible en poussière. Sa discussion aurait pu amener quelques membres de la Société à nous parler du four à puddler Sellers et du rotator Siemens qui présentent certains points de contact avec l'appareil Crampton. Espérons que M. Lavalley ne nous privera pas de la communication annoncée.

« La discussion sur le chauffage au combustible pulvérisé, système Crampton, serait heureusement venue se joindre à une discussion générale des divers systèmes de chauffage au gaz, discussion que je me suis efforcé, sans y réussir, d'amener dans nos séances.

« M. Fichet nous a entretenus du système de gazogène et de chambres de combustion que M. E. Muller et lui appliquent au chauffage des chaudières à vapeur,

des fours d'usines à gaz, des fours à noir animal. M. Lencauchez a décrit son système de chauffage au gaz avec gazogène à tirage naturel, brûleur-chalumeau et récupérateur Gaillard et Haillot. M. Périssé nous a lu un travail intéressant et complet sur le système Ponsard de chauffage au gaz avec récupérateur de chaleur, et sur son application aux fours à réchauffer le fer dans les forges. Nous attendions de M. Charpentier, notre collègue, inventeur d'un système de chauffage au gaz avec combustion complète, sous volume constant des gaz brûlés, un travail analogue; et de M. Boistel quelques détails sur les applications et les développements récents du système Siemens, que tous les inventeurs de systèmes nouveaux prennent comme objectif de leurs comparaisons.

« Une discussion générale, utile et intéressante, eût pu s'engager lorsque nous en aurions obtenu ainsi les éléments. M. Boistel n'a pu être prêt pour l'année dernière, et je souhaite vivement qu'il vienne nous entretenir cette année. De tous les systèmes de chauffage au gaz, celui de M. Siemens est, en effet, celui qui a pris actuellement la plus grande extension. Pour ne parler que des applications métallurgiques, j'ai vu l'année dernière, en Angleterre, de grandes usines dans lesquelles tous les fours étaient chauffés par ce système; par exemple l'usine de Barrow, qui compte plus de 60 grands fours à réchauffer et dans laquelle on ne voit pas un kilogramme de charbon dans les halles, les gazogènes étant tous réunis dans un emplacement spécial assez éloigné. Dans certaines de ces usines, à Ebbw-Vale, par exemple, on emploie depuis plusieurs années de grands fours à réchauffer, avec huit portes de travail, dans chacun desquels on réchauffe quotidiennement jusqu'à 72 tonnes de lingots d'acier avec une consommation de houille de 170 kilogrammes par tonne d'acier et un déchet très-faible sur cette matière. Ces faits sont trop peu connus en France; c'est pourquoi je prends la liberté de les introduire ici. »

« La fabrication des gaz destinés aux chauffages industriels méritait aussi de nous occuper. MM. Fichet et Périssé nous ont décrit les gazogènes à tirage naturel qu'ils emploient. M. Lencauchez nous a exposé ses idées sur la production du gaz à l'eau; il aurait pu nous décrire son système de gazogène distillateur. Les qualités respectives des gazogènes sans soufflerie et des gazogènes soufflés pouvaient amener aussi une discussion utile. M. Charpentier emploie un gazogène soufflé de même que M. Tessié du Motay dont le gazogène universel décrit ici, il y a deux ans, par M. Pourcel, a remplacé le gazogène à tirage naturel, chez M. de Wendel, pour le chauffage des fours Siemens à souder le fer.

« Les travaux publics et les chemins de fer ont pris aussi une large part de notre temps. Le remarquable rapport publié par M. Malezieux sur ceux des États-Unis d'Amérique a fourni matière pour des analyses et des comparaisons intéressantes à M. Morandière, en ce qui concerne le chemin de fer; à M. Mallet, en ce qui concerne les ports de mer; à M. Badois, au sujet de la navigation intérieure; à MM. Fortin-Hermann, Marché et Morandière, au sujet des fondations en rivières des distributions d'eau; à M. Brull, au sujet des installations de houillères.

« M. Dornès nous a récemment entretenus des efforts faits pour améliorer la navigation du Rhône par la construction du canal Saint-Louis.

« M. Dumont nous a décrit l'installation des eaux de Nîmes.

« M. Bergeron nous a communiqué son procédé pour l'approfondissement des ports de mer.

« MM. Colladon et Richard nous ont tenus au courant de l'état des travaux du tunnel du Saint-Gothard.

« M. Vauthier a exposé son projet de percement du Simplon, et M. Guibal son système de ventilation des grands tunnels.

« MM. Mallet et Morandière ont traité la question des chemins de fer de montagnes et des chemins de fer économiques.

« M. Letellier s'est occupé de nouveau de celle des chemins de fer dans Paris.

« L'industrie manufacturière nous a valu le mémoire de M. Grand sur l'industrie sucrière en Espagne et celui de M. Ogier sur la fabrication du caoutchouc vulcanisé.

« L'industrie minière a été représentée par le remarquable travail de M. Grand sur le bassin houiller des Asturies.

« L'Exposition de Vienne a amené une communication de M. Morandière sur les locomotives, et une autre de M. Marché sur les machines et la métallurgie.

« Plusieurs sujets divers ont encore été traités, savoir : la question des caisses de retraite, par M. Marché ; l'hydraulique des grands cours d'eau américains, par M. Leloup, d'après M. Revy ; les appareils de levage à traction directe, par M. Chrétien ; les secours contre l'incendie et l'agencement mécanique des théâtres, par M. Quéruel ; la séparation mécanique des liquides en suspension dans les gaz, par M. Maldant ; l'épuration de l'eau destinée aux chaudières à vapeur, par M. Forquenot ; les propriétés des explosifs, et notamment de la dynamite, par M. Brull.

« Nos travaux ont donc présenté une assez grande diversité et cependant je n'ai pu trouver place dans les ordres du jour de vos séances pour plusieurs Mémoires qui m'ont été adressés ; d'autres encore nous sont annoncés depuis quelque temps déjà et il m'est permis de me féliciter de laisser à mon successeur des ressources suffisantes pour occuper plusieurs séances.

« A côté de nos Mémoires techniques, votre Bureau et votre Comité ont eu à s'occuper d'un sujet que nous avions tous à cœur. La notice qui a été rédigée sur M. Eugène Flachat, par M. Léon Malo, avec le concours de plusieurs amis et élèves de notre regretté président honoraire, a pu paraître dans le courant de l'année dernière et vous la trouverez dans notre Bulletin. Nous regrettons vivement d'avoir été moins heureux en ce qui concerne le buste pour lequel une souscription spéciale a été faite parmi nous : la Commission nommée pour cet objet a rencontré diverses difficultés tenant à l'absence de portraits suffisants pour obtenir une ressemblance parfaite, et n'a pu encore donner la commande à l'artiste.

« Je suis heureux, en quittant la présidence, de constater l'état de prospérité de notre chère Société.

« Au 19 décembre 1873 elle comptait 1113 membres ; elle a acquis, pendant l'année 1874, 114 membres, mais elle en a perdu 36 par suite de décès, démissions ou radiations, de sorte qu'au 18 décembre dernier le total des membres s'élevait à 1191, en augmentation de 78 sur l'année précédente.

« Nos finances sont aussi en progrès : nos recettes courantes se sont élevées à 37 760 francs tandis que nos dépenses du même ordre n'ont pas dépassé 35 206 francs, nous laissant ainsi un petit solde disponible.

« Notre hôtel est complétement payé maintenant : il a coûté 278 706 fr. 90 cent., terrains compris. Vous n'avez d'autre dette que les 90 000 francs d'obligations émises pour la construction de l'hôtel et dont le remboursement annuel deviendra bientôt un article de nos budgets.

« Comme le disait, l'an dernier, M. Molinos, mon prédécesseur, nous pouvons prévoir dans un avenir prochain des excédants de recettes disponibles, et j'en saluerai

la présence avec une grande satisfaction. Une Société qui veut prospérer, qu'elle soit industrielle ou qu'elle ait un but analogue au nôtre, de même qu'un particulier qui veut assurer son sort dans l'avenir, ne doit pas dépenser tout ce qu'elle reçoit ou ce qu'elle gagne, même en faveur de ses membres. Je crois que votre Bureau et votre Comité feront bien, lorsqu'ils auront l'agréable tâche de décider du sort des excédants de recettes, d'en consacrer une part à la création de quelques prix destinés aux auteurs des meilleurs Mémoires présentés chaque année : notre unique médaille est certainement insuffisante pour encourager les collaborateurs que nous devons rechercher. Ils pourront aussi essayer d'augmenter l'importance de nôtre Bulletin, d'en perfectionner la forme matérielle. Mais je ne leur conseillerai jamais de dépenser tous nos excédants de recette : il nous faut une réserve pour les éventualités imprévues, et, d'ailleurs, nous avons nos obligations à rembourser à partir de 1877.

« Il ne me reste plus maintenant, Messieurs, qu'à vous exprimer encore une fois le sentiment de profonde gratitude que j'éprouve pour l'honneur que vous m'avez fait en me plaçant à votre tête pendant l'année qui vient de finir. Ma carrière a été consacrée aux mines et aux usines plus qu'aux travaux d'art, et il était permis de se demander si j'étais bien le président qui convenait à notre Société. Dans le fauteuil de la présidence, je représentais plutôt l'industrie houillère et métallurgique que le génie civil. Mais vous serez dédommagés cette année : l'habile ingénieur que vous avez choisi pour me remplacer représente, en effet, autant qu'il est possible, le génie civil dans l'acception que donnent à ce mot nos voisins les Anglais, auxquels nous l'avons emprunté.

« Il a cependant commencé sa carrière, si je ne me trompe, par l'art militaire; mais la belle carrière parcourue par l'ancien ingénieur en chef de la maison Gouin, par l'habile constructeur dont le nom est attaché à la magnifique œuvre du canal de Suez et que nous espérons voir représenter les ingénieurs français dans la création d'une œuvre non moins grandiose, le chemin de fer sous-marin de Calais à Douvres, a fait oublier l'ancien lieutenant du génie.

« J'invite donc, en votre nom, M. Lavalley, à prendre la place que vos suffrages lui ont accordée. »

M. Lavalley prend place au fauteuil de la présidence, et prononce le discours suivant :

« Messieurs et chers confrères,

« En 1869 vous avez bien voulu décerner la médaille d'or aux rapports que je vous ai adressés sur les travaux du canal de Suez.

« Peu après, vous m'appeliez à faire partie de votre Comité. A mon grand regret, je ne pus prendre part à ses travaux, ma santé m'obligeait au repos.

« Cependant un dernier et plus grand honneur m'attendait, et vous venez de m'appeler à succéder, à mon tour, aux hommes éminents qui ont fondé cette Société et dont nous pouvons, en si grand nombre ici, nous dire les élèves.

« Je ne puis espérer que mes services seront à la hauteur de ces témoignages si flatteurs de votre estime. Je ne puis qu'affirmer que vous pouvez compter sur tous mes efforts, sur tout mon dévouement.

« Il y a un an, M. Jordan, que je remplace sur ce fauteuil, vous entretenait de la métallurgie du fer, il vous montrait la voie dans laquelle doivent se diriger les recherches pour faire faire à cet art si important de nouveaux progrès.

« M. Molinos, avant lui, vous avait entretenus de la navigation intérieure, et, en insistant sur les services que ces économiques voies de transport peuvent rendre, il vous montrait combien peu elles sont développées en France, combien celles qui existent sont loin de l'état où elles devraient être, pour permettre d'en tirer tout le parti qu'on doit en attendre.

« Suivant ces exemples, je viens vous parler de la navigation maritime. J'appellerai votre attention sur une question importante, qui, malheureusement, enlevée elle aussi aux efforts, aux recherches de l'initiative privée, abandonnée à l'État par les intéressés locaux, marche lentement vers sa solution.

« Je viens vous parler des ports de mer, ou plutôt de l'amélioration et de l'entretien de l'entrée de nos ports de mer. Cette question est urgente, elle le devient tous les jours davantage.

« Au milieu des progrès merveilleux qu'ont faits, depuis cent ans, toutes les industries, l'art des constructions navales n'est pas resté en arrière.

« Dès le retour de la paix, au commencement de ce siècle, la marine marchande étrangère, frappée de la vitesse de quelques-uns de nos corsaires, avait essayé de copier leurs formes plus fines, et les bâtiments commencèrent à s'allonger.

« Peu après que l'immortel Watt eut créé la machine à vapeur, en l'amenant de suite à un degré de perfection qui défiait presque les progrès ultérieurs, on proposa d'en munir les bâtiments de mer. Bientôt un bateau à vapeur, construit en Angleterre, traversa heureusement l'Atlantique.

« Ce premier succès donna le signal. De nombreux bateaux furent construits et des services réguliers de bateaux à vapeur s'établirent de tous les côtés.

« On n'avait pas tardé à reconnaître que la résistance d'un bateau à fendre l'eau dépendait à peu près entièrement de sa section transversale au milieu, presque point de sa longueur. C'était une heureuse découverte pour les bâtiments à vapeur.

« Les premières machines construites pour la mer n'étaient guère que la machine Watt, avec son balancier transmettant le travail des cylindres à l'axe des roues à palettes qu'on avait tout d'abord adopté comme organe de propulsion. Ces machines, avec leurs chaudières à basse pression, étaient lourdes et encombrantes; elles occupaient, au milieu du navire, l'emplacement le plus commode pour l'arrimage des marchandises.

« Il y avait donc nécessité d'allonger les coques. Une difficulté se rencontra. On n'avait jusqu'alors fait que des navires en bois. Ces constructions se composaient essentiellement de la membrure, c'est-à-dire de tranches verticales reliées efficacement, dans des plans horizontaux, par les ponts et leurs barreaux, mais, dans le sens vertical, et sur leur longueur seulement, par la quille et par quelques pièces de bois faisant ceinture de l'avant à l'arrière et surtout par les madriers qui formaient le bordé extérieur et le vaigrage intérieur cloués sur les membres. L'étoupe, fortement bourrée entre les madriers, avait pour but, non pas seulement d'étancher les joints, mais de serrer fortement les madriers entre eux, et de donner aussi de l'avant à l'arrière la raideur verticale nécessaire. Cette liaison suffisait tant que le navire n'avait pas une grande longueur. A peine plus long que l'intervalle de deux lames, le bateau suivait, dans son tangage, les ondulations de la mer, et une faible raideur longitudinale suffisait à sa solidité.

« Il n'en fut plus de même quand les bateaux s'allongèrent, qu'ils devinrent plus fins de l'avant et de l'arrière. Les extrémités n'ayant qu'un déplacement insuffisant pour leur poids, devaient être soutenues par le milieu du navire. Il fallut alors à la construction une plus grande raideur verticale; le bois ne la donnait pas et, à peine mis à l'eau, les bâtiments se déformaient, s'arquaient par le plongement de leurs extrémités.

« On a souvent attribué à ces défauts de rigidité longitudinale la perte du « Président, » qui, à la fin de 1842, ouvrait la liste sinistre des naufrages des grands paquebots. Le « Président » était arqué, disait-on, avant de quitter le port pour son premier voyage.

« Heureusement l'industrie du fer s'était rapidement perfectionnée. On était arrivé à laminer de longues, de larges et d'épaisses tôles, des cornières, des fers à T simples et doubles de grandes dimensions.

« Les expériences et les études des ingénieurs civils qui avaient dû demander à l'emploi du fer des solutions que ne pouvait leur fournir l'art actuel de la construction, ne furent pas perdues pour le constructeur maritime.

« Il trouvait toutes créées des sections de barres laminées pour faire les membres, les barrots, tout inventés des formes, des procédés d'attache des différents fers entre eux, de nombreux ouvriers déjà exercés à assembler des pièces de fer suivant des formes fort différentes de celles de la chaudronnerie.

« Aussi ne se borna-t-on pas à introduire sur une plus grande échelle le fer dans les constructions en bois. Ce métal qui servait déjà, en faibles échantillons, à faire des bateaux légers pour la navigation fluviale, forma bientôt seul les coques entières des bâtiments de mer, puis les mâts et les principaux cordages.

« Les navires prirent alors des proportions jusqu'à ce moment inconnues. Sans parler du colossal « Great Eastern, » dû surtout à l'inventive audace de Brunnel le fils, des bâtiments ayant des longueurs de 120 à 130 mètres, égales à dix et onze fois leur largeur, sont devenus de construction courante.

« Cependant les machines marines s'étaient aussi perfectionnées. A basse pression d'abord et pendant longtemps, elles avaient successivement changé leurs dispositions pour s'alléger, diminuer leur volume en supprimant, avec le balancier, les pièces non indispensables. Mais l'emploi de la basse pression et la lenteur de la rotation des roues à aubes forçaient à conserver les grands cylindres, les grandes pompes à air, tandis que l'alimentation à l'eau salée, obligeant à rejeter continuellement à la mer une grande quantité d'eau déjà amenée à la température d'évaporation, exigeait l'emploi de chaudières d'un volume et d'un poids considérables.

« Les locomotives vinrent montrer à tous l'économie, l'absence de danger de l'usage de la haute pression.

« La légèreté, le petit volume des machines à haute pression en rendait très désirable l'emploi dans la marine. Mais quelques-uns des sels que contient l'eau de mer deviennent insolubles à des températures un peu supérieures à 100°. Il fallait donc, pour marcher à haute pression, pouvoir alimenter à l'eau douce, c'est-à-dire condenser sans mélange d'eau de mer. On tenta donc d'employer des condenseurs à surface.

« Les premiers essais ne réussirent pas, soit que les tubes, employés pour obtenir de grandes surfaces, fussent de trop petit diamètre, soit que la construction de ces appareils fût, sous d'autres rapports, imparfaite et l'idée parut pendant plusieurs années abandonnée.

« Mais bientôt l'invention de l'hélice, les avantages que son emploi présentait, aussi bien pour la marine marchande que pour la marine de guerre, firent faire aux constructions navales de nouveaux progrès.

« La rapidité de rotation de ce propulseur permit de diminuer les dimensions des machines. Il devenait de plus en plus intéressant de pouvoir employer la haute pression.

« Ce progrès se réalisa enfin et fut suivi presque aussitôt de l'application, dans les machines marines, du système Woolf, c'est-à-dire l'emploi de la vapeur à toute pression dans un petit cylindre et sa détente dans un grand.

« Les perfectionnements se succédèrent si rapidement qu'en quelques années le volume, le poids des machines, leur consommation, diminuèrent dans une proportion énorme.

« L'art du constructeur naval est ainsi parvenu à fournir au commerce des bâtiments légers, de dimensions aussi grandes qu'il peut être utile d'employer et d'un entretien se réduisant à peu près au grattage et à la peinture de la coque. Une machine à vapeur de faible puissance, pour un grand tonnage de marchandises, assure, au prix d'une consommation réduite de charbon, une marche d'une régularité remarquable, presque comparable à celle des transports sur terre et dont la vitesse semble ne dépendre que du prix qu'on veut la payer.

« Un pareil bateau, le pont percé de grands panneaux, muni de grues, de treuils à vapeur simples et commodes, embarque et débarque sa cargaison dans un temps très-court. S'il porte de puissantes machines, il est le bateau postal transportant rapidement les voyageurs et les dépêches. Avec une machine plus petite, une voilure plus complète, c'est le bateau mixte qui porte les marchandises. Si ce bateau mixte coûte encore notablement plus cher qu'un bâtiment à voiles, si, par conséquent, l'intérêt et l'amortissement annuel de la somme qu'il représente sont plus élevés, si son équipage, comprenant chauffeurs et mécaniciens, revient plus cher, en revanche il fait, dans le même temps, plus de voyages et encaisse plus de frets.

« Plus son tonnage est grand, moins élevés sont ses frais par tonne transportée. La coque est plus étanche que les coques en bois; les marchandises y sont moins exposées à être mouillées.

« Mais surtout il a la vapeur pour aider la voile à lutter contre les mauvais temps. Il est moins exposé, et les primes d'assurance sont moins élevées que pour les voiliers.

« La supériorité de sa marche sur celle de ces derniers lui donne encore l'avantage de l'économie d'intérêt sur la valeur des marchandises transportées.

« Devant une telle concurrence, la voile perdait tous les jours du terrain dans les mers qui baignent l'Europe. Elle conservait toutefois le monopole du marché de l'Extrême-Orient que les longues distances entre les points de ravitaillement fermaient aux vapeurs, quand l'ouverture du canal de Suez, dont la mer Rouge lui interdit l'emploi, ouvrit tout à coup aux vapeurs une route facile sur l'Inde, la Chine, le Japon, plus courte de moitié, où les escales, les points de ravitaillement de charbon rapprochés permettent de ne porter qu'une faible quantité de combustible.

« Ce nouveau marché acquis à la navigation à vapeur imprima un vif élan à son développement que rien n'arrête plus, ni l'élévation du prix des fers, ni la cherté du charbon.

« L'avenir de la navigation est donc tout entier dans les grands bateaux à vapeur

en fer. Les voiliers ne pourront conserver que les petits ports, les lieux de faible production, la navigation en cueillette, et ce marché se réduira au fur et à mesure que les moyens de concentration de marchandises se développeront.

« Devant l'accroissement qu'a pris la marine à vapeur, sous de tels avantages, les ports ne sont pas restés stationnaires. Les grands bateaux à roues exigeaient l'élargissement de l'entrée des bassins à flot; le constructeur en fer était tout prêt à substituer des portes métalliques aux portes en bois.

« Les bassins de carénage furent construits plus nombreux, plus longs, plus larges; le fer fournit facilement d'énormes bateaux-portes pour les fermer.

« Les quais se garnirent de mâtures capables d'embarquer de lourdes chaudières et on imagina des grues et des appareils de toute sorte pour embarquer les grains, les charbons, les marchandises ordinaires.

« La France suivit dans cette voie, mais de trop loin, les pays où l'État ne s'est pas chargé de ses travaux.

« L'insuffisance des quais, des bassins, des appareils de chargement et de déchargement dans tous ou presque tous nos ports n'est que trop incontestable.

« Cette insuffisance n'est malheureusement pas le plus grave reproche qu'on puisse faire à nos ports. Depuis longtemps le peu de profondeur des passes, l'ensablement des entrées, excitaient les plaintes du commerce maritime. Ces plaintes sont devenues plus vives, l'état est apparu plus grave depuis la transformation de la marine commerciale, depuis que les bâtiments sont devenus de plus en plus grands pour transporter plus économiquement.

« Moins favorablement situés que ceux d'autres pays, presque tous nos ports de commerce sont ouverts sur des plages de sable ou de galets, à l'embouchure des rivières dont le delta s'accroît sans cesse en obstruant l'entrée des ports.

« Le sable, les galets, soulevés par les lames, sont transportés, par les courants, parallèlement au rivage; ils se déposent là où il y a ralentissement de vitesse, dans les anses, les baies, les embouchures des rivières aux apports desquels ils s'ajoutent.

« Sur quelques points, les travaux faits pour améliorer la navigation dans le cours inférieur des rivières ont aggravé la situation des ports situés à l'embouchure.

« Ces rivières endiguées ne reçoivent plus, quand la mer monte, d'aussi grandes quantités d'eau, et, quand la mer baisse, il ne s'écoule plus la masse d'eau qui, avant l'endiguement, agissait comme chasse et déblayait l'embouchure. Il semble que les moyens employés jusqu'ici pour combattre le mal sont insuffisants, puisque ce mal s'accroît sur beaucoup de points. Ils le sont d'autant plus qu'il ne s'agit plus seulement d'entretenir la profondeur des chenaux, mais encore de l'augmenter.

« Les jetées qui s'avancent devant les ports, débouchant en mer, donnent à l'entrée le calme nécessaire. Elles ne peuvent pas la protéger contre les ensablements.

« Quand, sur une plage de sable ou de galets, on avance en mer des jetées pleines, ces jetées arrêtent les courants que les marées et le vent établissent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Ces courants, qui transportent parallèlement au rivage les sables ou les galets soulevés par les lames, déviés brusquement par les jetées, se ralentissent, forment des remous et déposent les matières transportées dans les angles des jetées et du rivage. On voit alors ces angles se remplir petit à petit, le rivage s'infléchit en formant une courbe concave se raccordant avec les jetées. Chaque année voit le rivage s'avancer sur la mer en poussant, en quelque sorte, devant lui,

les courbes des fonds de 3, 4, 5 mètres; les atterrissements gagnent les musoirs des jetées et finissent par obstruer l'entrée du chenal.

« Si on prolonge les jetées jusque dans les fonds suffisants, le remède n'est que temporaire, la plage recommence à avancer et bientôt la situation redevient ce qu'elle était.

« Pour obvier à cet inconvénient des sables et des galets arrêtés par les jetées pleines, ces dernières sont souvent à claires-voies. Le courant traversant ces estacades n'est pas arrêté complétement et les matières transportées peuvent continuer leur course parallèle au rivage, mais la totalité ne franchit pas le chenal. Tout ralentissement de courant fait former un dépôt ; tout dépôt vient d'un ralentissement de courant. Quand donc un courant de littoral, chargé de matières, arrive aux claires-voies, il les traverse ; mais la quantité d'eau qui passe est en raison de la section réduite que laissent les estacades. Après le passage de ces obstacles, la section d'écoulement se trouve plus grande et la vitesse est diminuée, les lames sont amorties et les éléments les plus grossiers des matières transportées se déposent dans le chenal.

« Pour entraîner ces dépôts dans les grands fonds, les mers à marées fournissent des chasses faciles. La mer, en montant, remplit les bassins naturels ou creusés à bras d'homme en arrière du port. Des portes retiennent cette eau pendant la marée descendante, puis, ouvertes à marée basse, elles la laissent s'échapper. Le torrent ainsi produit parcourt l'avant-port avec une vitesse qui diminue à mesure qu'il s'avance et que la section mouillée s'accroît. Quand il sort des jetées, son action sur la barre n'a pas toujours l'énergie désirable. L'eau affouille bien encore les parties les moins résistantes et creuse un chenal plus ou moins sinueux et d'une profondeur la plupart du temps insuffisante.

« L'effet de la chasse dépend de la masse d'eau dont on dispose : plus le torrent produit est gros et rapide, plus sa durée est longue et plus l'effet obtenu sera grand et plus profondément sera creusé le chenal. Les lagunes de Venise se vidant à chaque marée, par l'ouverture du Malamocco, ont produit un approfondissement considérable.

« Nos ports autrefois, dans leur état naturel, étaient balayés, à la marée descendante, par l'énorme quantité d'eau qui, à mer haute, avait rempli les vallées, les dépressions dans lesquelles presque tous sont situés. Peu à peu la profondeur de ces bassins s'est réduite par un colmatage naturel; leurs bords ont été resserrés par la main de l'homme pour faire place à des constructions. Les chasses ont été ainsi affaiblies peu à peu et la profondeur et la largeur des chenaux ont diminué, leur section se mettant nécessairement en rapport avec la quantité d'eau qui les balaye pendant le jusant.

« Telle est sans doute une des causes qui ont concouru à faire disparaître quelques-uns de nos anciens ports, à diminuer pour tous la profondeur du chenal d'accès. Sur plusieurs points, l'ingénieur est venu rétablir, du moins en partie, les bassins; mais l'expérience de chaque jour nous montre qu'ils sont insuffisants.

« Pour donner à l'entrée de nos ports la profondeur que réclame la nouvelle marine, n'y a-t-il pas d'autre moyen que de créer de nouveaux bassins de chasse ou, sur certains points, de diriger les courants naturels par des jetées submersibles ou non ? — La mécanique ne peut-elle pas fournir ici encore au moins un auxiliaire ?

« Il ne semble pas que jusqu'à présent des essais aient été faits sur une échelle qui permette d'affirmer ou de nier l'efficacité de ce concours.

« Aux dragages mécaniques sont souvent faites deux objections :

« La première, que les apports sont considérables, que leur enlèvement à la main et leur transport au loin, par bateaux, coûteraient trop cher :

« La seconde, que le draguage ne peut se faire par tous les temps et que les chenaux ouverts pendant la belle saison se combleraient peu à peu pendant la mauvaise, avant que les appareils mécaniques puissent être remis en marche, c'est-à-dire que l'entretien par draguage est intermittent, tandis que les chasses agissent tous les jours, à toutes les marées.

« Ces objections sont graves, peut-être cependant le sont-elles moins qu'elles ne le paraissent ?

« Examinons-les :

« La dépense d'entretien par déblai mécanique sera considérable, dit-on. Mais ne semble-t-il pas qu'on oublie que les données manquent pour apprécier les quantités qu'il faudrait enlever chaque année ? N'oublie-t-on pas aussi à quel bas prix on est parvenu à faire du curage à la machine ? Tient-on compte, d'un autre côté, des dépenses qu'exige la construction de vastes bassins de chasse ?

« Cependant c'est par millions que se chiffrent les devis de ces travaux. Ces millions coûtent actuellement de gros intérêts auxquels il faut encore ajouter des frais de surveillance et d'entretien. En présence de ces grosses sommes, n'y a-t-il pas lieu de se demander s'il n'en coûterait pas moins cher de draguer tout simplement les sables que les courants et les lames apportent ?

« L'expérience seule peut répondre à cette question ; seule aussi elle apprendra s'il ne suffirait pas pour remédier à l'inconvénient de l'entretien intermittent, de donner au chenal plus de profondeur et plus de largeur qu'il n'est nécessaire au passage des bateaux. On constituerait ainsi comme un magasin où les apports s'accumuleraient sans gêne pour la navigation, jusqu'au jour où les dragues reviendraient vider ce réservoir et le préparer à recevoir les apports futurs.

« Vous connaissez les services que, depuis quelques années, les dragues à godets ont rendus pour creuser des canaux, approfondir des rivières, curer et améliorer les bassins des ports. Vous savez aussi avec quel succès les vases du bassin de Saint-Nazaire sont enlevées au moyen de pompes qui les aspirent avec l'eau nécessaire pour les entraîner.

« L'ingénieur des ports peut choisir entre ces deux moyens. La drague à godets, plus chère peut-être de premier achat, enlève des terrains de consistance très-différente, depuis les vases fluides jusqu'aux roches de moyenne dureté. La pompe extrait facilement les vases, les sables et peut-être les petits graviers ; mais son action diminue rapidement et cesse bientôt quand le sol durcit. Le prix de revient du déblai enlevé par l'un et l'autre engin augmente avec la dureté du déblai à fouiller, plus rapidement pour les dragues à pompes que pour les dragues à godets. Mais ce prix est toujours peu élevé dès que les travaux sont assez importants par rapport à la valeur des appareils à amortir.

« L'administration, sollicitée à la fois par nos différents ports, ne peut que répartir entre eux les modiques sommes que le budget alloue chaque année. Aussi les ports, effrayés du temps qu'ils auraient encore à attendre des travaux pourtant si nécessaires, proposent-ils à l'État de lui avancer les fonds. L'élan est presque général. De grosses sommes vont sans doute être dépensées. Mais, quoi qu'on fasse, il

faudra bien des années encore pour que les ports qui s'imposent d'assez lourds sacrifices aient une amélioration sensible.

« Ne semble-t-il pas, Messieurs, que le moment soit venu de faire appel aux moyens mécaniques, de s'assurer des services qu'on peut en attendre? L'expérience prouvera peut-être qu'à moindres frais ils peuvent tenir lieu de constructions toujours fort dispendieuses et dont le succès est toujours incertain.

« Si des essais montraient, au contraire, que le déblai mécanique est trop cher pour qu'on ne cherche pas à le remplacer par d'autres dispositions, ils auraient toujours l'avantage d'améliorer de suite l'accès des ports et de fournir, sur les quantités des apports de la mer, des données utiles.

« On peut en quelques mois mettre une drague à enlever un haut-fond; il faut des années pour faire des bassins de chasse. Cette drague, si elle est solide, bien construite, enlèvera facilement 30, 40, 50 mille mètres cubes par mois, pourvu que le mauvais temps ne la contrarie pas trop; elle aura rapidement ouvert un chenal à travers une barre et, en quelques mois, donné à tel port le mouvement et le commerce que sa situation lui donne le droit d'espérer.

« Je vous disais, Messieurs, qu'on ne saurait plus tarder à recourir à toutes les ressources de l'art pour satisfaire aux exigences croissantes de la marine. Il le faut d'autant plus que les relations de peuple à peuple, de continent à continent, d'un hémisphère à l'autre, deviennent plus fréquentes, on peut dire plus nécessaires.

« Il semblait autrefois que chaque pays pouvait fournir à sa population au moins les objets indispensables à son existence. Depuis longtemps il n'en est plus ainsi. Depuis cent ans surtout que l'industrie, guidée par les merveilleuses découvertes des sciences, a su substituer de plus en plus la vapeur aux moteurs animés, les machines aux bras de l'homme, la production augmentée a amené l'aisance et la consommation de toutes choses s'est accrue. Pour satisfaire à cette consommation croissante, il se fait peu à peu entre les différents pays une sorte de division de la production, comme il s'était fait entre les hommes d'un même pays la division du travail. Depuis longtemps nous devons demander à l'Amérique, aux Indes, à l'Égypte, le coton qui nous habille; nous devons maintenant demander à l'Australie, aux pays peu peuplés, la laine, ce produit pastoral. La Russie, l'Amérique et, depuis peu, la Californie, pays encore peu peuplés, nous fournissent, à bon compte, le blé qui nous fera défaut de plus en plus, à mesure que nous devrons réserver plus de terres à la production de la viande. Il nous faut demander à l'Angleterre les charbons qui manquent à plusieurs de nos provinces; à l'Amérique, le cuivre, l'étain, le plomb. Vous savez avec quelle rapidité nos achats et nos ventes à l'étranger vont en croissant, avec quelle rapidité se développe pour tous les pays le commerce extérieur.

« A mesure que l'Europe, dans les cinquante dernières années, inventait et fournit son énorme mobilier industriel, son réseau de routes, de chemins de fer, sa richesse croissait et lui rendait plus facile la création de nouveaux moyens de production. De grands désastres, de grands bouleversements ont porté de profondes atteintes à la richesse publique. Mais le travail réparera promptement ces pertes. — L'épargne se reconstituera, et bientôt elle ne trouvera plus son emploi dans les créations qui l'ont absorbée jusqu'ici. Après les nombreux renouvellements qu'exigeaient les progrès succédant rapidement à leur invention, les métiers, les machines, les appareils de toute espèce sont arrivés à un point où les perfectionnements seront plus lents, les routes, les réseaux de chemin de fer ne s'accroîtront plus que lentement

Ne trouvant plus chez lui l'emploi de ses capitaux, chaque peuple le cherchera de plus en plus dans les échanges avec d'autres pays. Le rôle de la marine ira en grandissant rapidement, et si, dans la navigation du monde commercial, la France ne tient pas le rang qu'elle devrait occuper, du moins faut-il qu'elle donne aux bâtiments étrangers les facilités nécessaires; son énorme commerce extérieur l'exige.

« Beaucoup d'entre vous, Messieurs et chers Confrères, s'occupent de questions se rapportant de près ou de loin au sujet dont je viens de vous entretenir. Permettez-moi d'insister, à mon tour, pour qu'ils nous communiquent les résultats de leurs études, de leur expérience. Plus nous mettrons nos connaissances en commun, plus nous nous aiderons, plus il nous sera facile de résoudre les problèmes nouveaux que l'exercice de notre profession nous présente sans cesse.

« Chaque jour le champ de notre profession s'étend, chaque jour on lui demande davantage. Tous les arts deviennent de plus en plus savants.

« Quel est celui qui ne demande pas à l'homme qui l'exerce la connaissance, à la fois, de la machine qu'il emploie et qu'il faut perfectionner, de la chimie, de la physique pour la recherche des progrès qu'exige une concurrence tous les jours plus active.

« D'autres professions, peut-être, peuvent se diviser en étroites spécialités; la nôtre ne le peut pas, ou du moins nous qui l'exerçons librement, à nos risques et périls, nous pouvons chaque jour être appelés à tous les genres de travaux qu'elle embrasse. Combien d'entre nous sont et ont dû être, à la fois, mécaniciens, architectes, constructeurs de ponts, de canaux, de souterrains, mineurs, hydrauliciens, métallurgistes, constructeurs de navires, etc. Que de choses n'avons-nous pas dû apprendre depuis que nous avons quitté les bancs des écoles.

« Aussi quelle qu'ait été la part que, dans notre jeunesse, chacun de nous a pu faire à la théorie, à la pratique, bientôt ces diversités diminuent, s'effacent.

« Et cette Société nous réunit tous, sans nous demander quelle fut notre origine.

« Je vous remercie encore de m'avoir appelé à l'honneur de la présider.

« Votre Bureau, votre Comité m'aideront dans l'accomplissement de cette mission; leur dévouement à vos intérêts, notre union, notre désir du progrès, le passé en sont les sûrs garants; elle me sera rendue facile, si je puis trouver auprès de vous tous un peu de la sympathie dont vous entourez, à si juste titre, mon prédécesseur, notre excellent confrère, l'éminent métallurgiste, M. Jordan. »

Le procès-verbal de la séance du 18 décembre est adopté.

M. le Président annonce le décès de M. Émile Pereire, membre associé de notre Société; il rappelle que le nom de M. Émile Pereire se rattache aux grandes entreprises financières, qu'on lui doit la création et le développement de bien des Compagnies de Chemins de fer, des Compagnies maritimes et une coopération active dans l'exécution de grands travaux.

La parole est ensuite donnée à M. Brüll pour continuer sa communication sur la dynamite, qui avait été interrompue dans la séance du 4 décembre dernier.

M. Brüll rappelle que dans la dernière séance il a présenté quelques considérations théoriques sur les phénomènes d'explosion et sur les propriétés spécifiques de diverses substances explosives. Il continue ensuite la lecture de son travail sur la

nitroglycérine et la dynamite. La note étudie successivement la composition de la nitroglycérine, ses propriétés physiques et chimiques, l'action de la chaleur sur cette huile explosive, sa stabilité, la façon dont elle se comporte sous l'influence de l'électricité, ses effets physiologiques, les produits de son explosion, le mode d'emploi de la nitroglycérine, la préparation de cette substance. Un chapitre est consacré au côté historique de la question : il rapporte l'introduction de la nitroglycérine dans l'industrie, les accidents causés par ce dangereux produit, les prohibitions sévères dont il fut l'objet dans plusieurs pays, l'invention de la dynamite et l'abandon de la nitroglycérine.

M. Brüll présente ensuite avec quelque développement la définition de la dynamite. Il explique que la dynamite est de la nitroglycérine absorbée dans une matière poreuse, et il fait comprendre comment cette modification si simple de l'huile explosive en transforme les propriétés au point de lui conserver sa grande puissance et ses précieux avantages tout en lui retirant ses dangers.

Parmi les matières pulvérulentes, en très grand nombre, que l'on peut employer pour absorber la nitroglycérine, M. Nobel a choisi la kieselguhr d'Oberlohe, en Hanovre. La note rapporte à ce sujet les appréciations de M. Traugl, officier du génie autrichien, et de M. Abel, chimiste du département de la guerre, à Londres, qui font bien ressortir les avantages de cette matière. C'est donc à tort qu'il a été écrit, dans une brochure semi-officielle, que le choix de l'absorbant n'avait aucune importance et que la force de la dynamite ne dépendait pas de sa richesse en nitroglycérine.

La note expose ensuite la préparation de la dynamite et les propriétés de cette substance, l'action que la chaleur et le choc exercent sur elle dans diverses conditions, l'action du froid, de la lumière, de l'électricité, la stabilité de la dynamite et ses effets physiologiques.

Puis viennent des détails pratiques sur l'emballage, le transport et l'emmagasinage de cette poudre de mine, sur les modes d'emploi suivis dans l'industrie, sur les capsules, sur les mèches et sur les amorces électriques.

M. J. Garnier croit savoir que, pour les torpilles sous-marines, on se sert de fulmi-coton comprimé, il demande si cette substance présente pour cette application quelque supériorité sur la dynamite.

M. Brüll répond que la question doit être considérée comme à l'étude plutôt que comme résolue; diverses matières sont en ce moment à l'essai dans plusieurs pays. On peut dire que le coton-poudre comprimé et la dynamite sont supérieurs à la poudre pour les torpilles, parce que ces substances craignent moins l'eau et permettent d'employer des appareils plus légers. Les explosifs à *action vive* peuvent être renfermés dans des enveloppes moins fortes que les explosifs *lents* parce que, avec ces derniers, les enveloppes doivent, pour ainsi dire, emmagasiner les efforts, pendant la transmission de l'explosion jusqu'à l'inflammation complète.

Quant à la préférence à donner au fulmi-coton comprimé ou à la dynamite, il est difficile de rien dire de bien précis à cet égard; le coton-poudre est d'un prix plus élevé, mais cette considération a peu de poids pour des applications du genre des torpilles.

M. Périssé demande si la dynamite a été appliquée aux grandes mines dont on se sert au bord de la mer pour obtenir des blocs d'enrochement, et quels ont été ses effets comparativement à ceux de la poudre de mine.



1 kilogramme de poudre a donné généralement de 2 1/2 à 3 mètres cubes dans du calcaire très-dense, et suivant la configuration de la partie à enlever.

M. Périssé a vu dans l'Adriatique une mine de 12 à 13000 kilogrammes de poudre qui n'a pas détaché les 60 à 65000 mètres cubes espérés. On a attribué ce fait à ce que l'action de la poudre ordinaire est beaucoup diminuée, lorsqu'il il y a des poches d'eau ou de terre. Il n'en serait pas de même, pense-t-il, de la dynamite.

M. Brull mentionne des applications de ce genre faites au chemin de fer de Port-Vendres à la frontière d'Espagne.

M. Richard peut citer un cas où l'emploi de la dynamite a rendu de très-grands services, il s'agissait sur la ligne de La Rochelle à Rochefort de creuser une tranchée dans des tufs peu consistants et pour des raisons d'insalubrité, il fallait procéder très-rapidement ; on creusa parallèlement à l'axe de la tranchée et à 3 mètres de la cunette une série de trous de mine de $1^{m},20$ de profondeur, dans chacun desquels on mit une cartouche de dynamite de 300 grammes; l'explosion de chaque coup détachait 30 à 40 mètres cubes de terre, on a pu par ce moyen terminer très-rapidement le travail.

M. Brull pense qu'on pourrait, dans cet ordre d'idées, obtenir d'excellents résultats, en employant la dynamite en faible quantité, pour élargir des trous de mine et les transformer en fourneaux pouvant recevoir de fortes charges.

M. Jordan a entendu M. Brüll citer des extraits d'un ouvrage en quelque sorte officiel sur la dynamite (c'est celui de M. Roux, directeur des manufactures de l'État). Il a remarqué avec étonnement qu'on indiquait comme pouvant remplacer la *kieselghur*, les laitiers de forge, et désirerait savoir ce que M. Roux désigne sous ce nom et quelle sorte de laitier ou de scorie peut avoir des propriétés assez absorbantes pour cet usage; il demande aussi quelle est la substance qu'emploie l'État pour sa fabrication. (C'est la silice farineuse d'Auvergne.)

M. Regnard cite des faits curieux dont il a été témoin dans une grande usine métallurgique où il a vu employer la dynamite pour la démolition d'un loup de haut fourneau de 30 à 40 tonnes. Il a pu remarquer toutefois qu'à plusieurs reprises l'explosion de la dynamite a été incomplète.

M. Delesse, ingénieur en chef des mines, invité à assister à la séance, demande à M. Brull si, à sa connaissance, on a essayé la gaize, sorte de silice farineuse très-abondante en France et que ses propriétés absorbantes semblent recommander pour la fabrication de la dynamite.

M. Brull répond qu'au début de la guerre, M. Barbe a dû se préoccuper de trouver des substances qu'il pût substituer au *kieselghur ;* il a essayé plusieurs substances, entre autres la gaize, et en définitive aucune de ces substances ne s'est montrée égale à la kieselghur.

M. J. Garnier n'est pas étonné de la préférence qu'on donne à la silice farineuse ; ayant eu l'occasion d'en analyser des échantillons, il a trouvé 70 pour 100 d'eau, ce qui indique une faculté absorbante remarquable.

M. Gillot croit devoir indiquer que près de Gien, dans une exploitation de craie pour fabrication de blanc d'Espagne, on rencontre des couches d'épaisseur considérable composées de carapaces d'infusoires qui rendent la craie impropre à toute espèce d'usage, et qui pourraient peut-être être utilisées pour la fabrication de la dynamite.

Vu l'heure avancée, la fin de la communication est renvoyée à la prochaine séance.

Séance du 22 Janvier 1875.

Présidence de M. LAVALLEY.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 8 janvier est adopté.

M. BRULL a la parole pour présenter la fin de sa communication sur la dynamite. Il termine d'abord l'exposé des propriétés et des modes d'emploi de cet explosif. Il indique les procédés de mise à feu par l'électricité, le mode de préparation des cartouches amorces, la manière de charger les trous de mines et de disposer les charges non confinées, les précautions à prendre en cas de raté.

La communication de l'explosion d'une charge de dynamite à une autre charge éloignée de la première, soit à l'air libre, soit par des tuyaux, a été l'objet de nombreuses expériences de M. Abel, de M. Barbe et de M. Trauzl. M. Abel a fait aussi dans ces derniers temps des essais pour rechercher la vitesse avec laquelle l'explosion se propage dans des traînées continues ou discontinues de coton-poudre comprimé et de dynamite. Cette vitesse pour les traînées continues de dynamite est moyennement de 5938 à 6663 mètres par seconde.

Le mémoire expose ensuite le mode d'emploi de la dynamite par les temps froids et aussi dans les terrains aquifères ou sous l'eau.

M. BRULL arrive à l'exposé des applications de la dynamite. Il passe rapidement sur les usages de cet explosif dans l'art militaire, mais il fait ressortir surtout l'importance des emplois civils qui se reproduisent chaque jour et qui intéressent plus directement les ingénieurs. Il passe en revue l'application de la dynamite aux travaux à la roche, galeries, puits, tranchées, tunnels, aux travaux submergés.

La note fait comprendre d'abord que, pour l'attaque des roches, on recueille les avantages de la dynamite sur la poudre en plaçant le trou de mine plus près de la ligne de moindre résistance, en lui donnant un calibre moindre et une profondeur plus grande, et en le chargeant sur une plus grande partie de sa longueur. L'explosion arrache la roche jusqu'au fond du trou, malgré ces conditions plus difficiles que celles que comporte l'emploi de la poudre.

M. BRULL rapporte divers exemples de travaux d'abatage à la dynamite : les puits, tunnels et tranchées du chemin de fer de Montpellier à Rodez, de la ligne de Port-Vendres à la frontière d'Espagne, des chemins de fer des Charentes; les travaux préparatoires des mines d'Anzin, des ardoisières d'Angers, des Ardennes, de la Mayenne; l'exploitation des calcaires de l'Ouest, des phosphates de chaux du Lot, du Tarn, du Rhône et de l'Aveyron; des mines de fer de la Meurthe et de l'Algérie, des mines métalliques de San-John-del-Rey au Brésil et de Saint-Julien de Val-

gargues, près d'Alais; la construction de l'aqueduc François-Joseph amenant à Vienne les eaux du Schneeberg; le percement des tunnels de Mesco et de Biassa, près la Spezzia.

La Note explique le mode d'action de la dynamite sous l'eau. Elle passe en revue l'approfondissement de la passe de Bocca Falsa dans le port de Trieste, les dérochements entrepris dans le port de Cassis et à la Ciotat.

Enfin M. Brull mentionne les applications diverses de la poudre Nobel : à l'extraction du pétrole, à l'augmentation du débit des puits à eau et des puits des salines, à la rupture des tabliers de ponts tombés dans les rivières, à l'enlèvement des glaces, au fractionnement des fortes masses métalliques, des coques de navires échoués, aux défrichements et à la pêche.

La communication se termine par un exposé d'ensemble sur l'utilité de la dynamite et sur les services qu'elle rend à l'art de la guerre et surtout à l'industrie.

M. le Président, à propos de l'emploi de la dynamite par détente que M. Brüll conseille pour l'abatage de la houille, demande si ce mode d'emploi ne pourrait pas aussi être appliqué pour les roches plus dures dans le cas où l'action de la dynamite est trop violente. Il a remarqué, en effet, qu'aux travaux du port de Fiume on a abandonné l'usage de cet explosif pour les grosses mines parce que les blocs qui en résultaient étaient trop menus. Obtiendrait-on des blocs plus gros par détente?

M. Brull répond qu'il a été consulté au sujet des travaux dont parle M. le Président. Il croit, sans en connaître la cause, que la dynamite a été remplacée à Fiume par un explosif autre que la poudre de mine.

M. Joubert dit que l'on fait usage sur ce chantier de la poudre pour les grosses mines, mais que la dynamite continue à y être employée pour les petites mines.

M. Brull pense que ce fait peut sans doute être motivé par une question de prix de la poudre et de consistance de la roche. Il y a toujours économie à employer la dynamite au lieu de poudre lorsque le terrain est dur, et dans ce cas il croit qu'il y a moyen d'obtenir de gros blocs par un emploi judicieux de l'explosif.

M. Gillot demande si un moyen d'arriver à cela ne serait pas de diluer la dynamite dans une matière inerte qui en atténuerait l'effet immédiat.

M. Brull répond que des tentatives ont été faites dans ce sens puisque le gouvernement français a fabriqué trois espèces de produits :

Le n° 1 contient 0,75 de nitroglycérine pour 0,25 de matière absorbante;
Le n° 2 contient 0,50 de nitroglycérine pour 0,50 de matière absorbante;
Le n° 3 contient 0,25 de nytroglycérine pour 0,75 de matière absorbante.

Or, tandis que le n° 1 réussit très-bien et le n° 2 assez bien, le n° 3 n'a pas donné de bons résultats; il ne part pas, et donne jusqu'à 8 ou 9 ratés sur 10. La dynamite a une action locale, il faut chercher à ne produire cette action que lorsqu'elle est nécessaire et immédiatement utilisable.

Mais c'est résoudre mal le problème posé que de mélanger la nitroglycérine à une trop grande quantité de matière inerte, et de produire ainsi une dynamite pauvre. C'est l'opinion de M. Nobel qui conseille, au contraire, de produire une dynamite très-riche et qui recherche pour cela les meilleurs absorbants de manière que la répartition de la nitroglycérine dans une plus petite masse soit la meilleure possible.

M. de Bruignac, sans défendre l'emploi des dynamites pauvres que l'expérience et

le raisonnement paraissent condamner, ne pense pas, comme le fait M. Brüll, que ces dynamites doivent être irrégulières, c'est-à-dire riches dans certaines parties et très-pauvres dans d'autres. Il semble facile de les obtenir homogènes, en préparant une dynamite normale, puis y mêlant intimement un corps inerte; la répartition serait ainsi très-régulière. Elle ne s'altérerait pas par suite de la propriété de la dynamite de laisser exsuder de la nitroglycérine; car cette exsudation atteindrait uniformément le corps uniformément mélangé. S'il devait en être autrement, le même effet ne causerait-il pas également l'appauvrissement par places, et par suite l'irrégularité des dynamites riches ordinaires?

M. Brull répond que cela n'aurait pas un meilleur succès que ce qui vient d'être proposé. Il insiste pour qu'on ne perde pas de vue que la nitroglycérine est un corps huileux et que le corps sec qu'on lui adjoindrait ne l'absorberait pas également, ce qui est pourtant la condition essentielle d'un bon produit qui doit faire explosion, en quelque point de sa masse qu'on place la capsule destinée à provoquer l'explosion. C'est à tel point qu'on enveloppe la dynamite fabriquée autant que possible dans du papier imperméable parce que le papier ordinaire absorberait quelque peu que ce soit de la nitroglycérine en contact avec lui.

Il répète qu'il serait facile de faire des dynamites pauvres à l'aide d'absorbants peu avides, mais que ce serait entrer dans une mauvaise voie. Pourquoi, en effet, employer la combustion de la nitroglycérine à échauffer la matière inerte? Ce serait perdre sans utilité pour le but qu'on se propose une partie de la chaleur développée qui sera bien plus profitable si on lui fait opérer la dilatation des gaz dont la pression doit produire l'effet vraiment utile.

M. le Président rappelle les effets physiologiques produits par la combustion de la dynamite. M. Brüll a indiqué qu'ils dépendent de l'organisation de chacun, et que ces effets cessent de se produire assez promptement. Cependant M. Lavalley a été témoin à Fiume que les ouvriers devaient après chaque explosion laisser passer un temps assez long avant de revenir à la mine, quoique l'exploitation de la roche eût lieu à ciel ouvert, à flanc de coteau et par conséquent dans un endroit très-bien aéré.

M. Brull croit que cela tient à ce que la nitroglycérine n'était pas brûlée complétement. Dans ce cas il se produit de l'acide hypoazotique et de l'oxyde de carbone, gaz délétères, au lieu de l'acide azotique et de l'acide carbonique et de l'eau que produirait la combustion complète.

Il faut pour éviter ces inconvénients chercher à bien brûler la dynamite, et pour cela la confiner par un bourrage bien fait, employer de bonnes capsules dans des trous de mine bien disposés, éviter que les ouvriers en emploient une trop grande quantité pour l'effet à produire, et en laissent une partie sur le bord du trou, en un mot prendre les soins et les précautions nécessaires pour que tout soit bien brûlé, et alors il ne se produira pas de produits nitreux.

M. Lavalley demande si au Saint-Gothard il est pris des précautions spéciales.

M. Brull sait qu'on n'en prend pas d'autre que l'aération ordinaire des galeries, et les soins qu'il vient d'indiquer, et pourtant il ne se remarque aucun inconvénient pour la santé des ouvriers, quoique l'on brûle 5 à 600 kilogrammes de dynamite par jour.

M. Joubert, comparant la dynamite avec la poudre, dit qu'il a essayé de la dynamite n° 3 qui a donné le même résultat que la poudre. Dans ce cas, en tenant compte

de la différence de prix, il n'y aurait donc pas d'avantage à employer la dynamite n° 3.

M. Brüll dit que la dynamite n° 3 livrée par la régie française ne peut être prise comme terme de comparaison; peu d'ingénieurs ont pu la faire partir, et ceux qui y ont réussi n'ont pas dû en tirer de résultats avantageux, pour les raisons qu'il a dites plus haut.

M. le Président ajoute qu'au Saint-Gothard l'emploi de la dynamite permet de faire un avancement de 7 à 8 mètres par jour qu'on n'aurait pas obtenu avec la poudre. Cela tient à la grande économie de main-d'œuvre réalisée par la possibilité de percer des trous plus profonds, de plus petit diamètre, plus rapprochés de la ligne de moindre résistance, etc., possibilité due à l'action plus considérable de cet explosif.

M. Gillot formule un vœu pour que l'État rende libre en France, dans l'intérêt de l'industrie, la fabrication et le commerce de la dynamite.

M. le Président donne lecture d'une Note de M. Genissieux, administrateur délégué de la Compagnie générale des Voitures à Paris, sur les canalisations d'eau dans les grands ateliers pour le cas d'incendie.

J'ai appliqué dans la construction des ateliers que la Compagnie Générale des Voitures à Paris a créés rue d'Aubervillers, n° 134, pour la construction et la réparation de ses voitures, un système de canalisation d'eau servant concurremment pour les besoins de l'atelier et pour le service des incendies en cas de besoin.

Cet atelier limité par les deux rues parallèles d'Aubervilliers et Curial, toutes deux munies de conduites d'eau de la ville, a une superficie de près de 27 000 mètres.

Les réservoirs de l'usine contenant cent mètres cubes sont alimentés par une canalisation indépendante ordinaire avec flotteur.

En outre de cette prise d'eau, j'ai branché sur les deux conduites parallèles de la ville une conduite principale de $0^{m},100$ traversant l'usine et allant de l'une à l'autre rue.

De chaque côté, cette conduite est fermée par un robinet à cadenas avec regard placé dans la rue à la disposition des agents de la ville. Je ne suis autorisé à ouvrir ces robinets qu'en cas de sinistre. Donc, en temps ordinaire, l'eau de la ville n'entre pas dans la conduite principale.

A l'intérieur, j'ai branché mes réservoirs sur cette même conduite, sur laquelle sont faites toutes les prises d'eau nécessaires au service.

Enfin, tous les robinets, munis d'un pas de vis pouvant recevoir les boyaux ou tuyaux des pompes du modèle de la ville, reçoivent une ajusture spéciale pour les besoins de l'usine, ce qui les maintient toujours en bon état.

En cas de sinistre, un tuyau raccordé d'une lance est vissé sur le robinet le plus voisin et sert soit à l'extinction directe du feu, soit à alimenter les pompes; il faut très-peu de temps pour mettre l'eau en action.

Dans les premiers moments, c'est le réservoir seul qui fournit l'eau, mais simultanément un homme est chargé d'aller casser l'un ou l'autre des cadenas extérieurs et d'ouvrir le robinet; par cela seul la pression de la ville vient instantanément se substituer à la pression des réservoirs et l'alimentation devient illimitée sans dérangement ni perte de temps.

Afin d'empêcher l'eau de remonter dans les réservoirs, ce qui les ferait inutile-

ment déborder, il est utile de faire fermer la conduite qui descend des cuves dans la grande conduite principale.

Les administrateurs de la ville et la Compagnie Générale des Eaux ont mis la plus grande complaisance à nous permettre d'exécuter ce programme qui, tout en sauvegardant leurs intérêts, met instantanément à notre disposition les ressources des pressions de la ville sans le dérangement d'aucun de ses employés.

Les canalisations spéciales employées par certains industriels pour les cas d'incendies restent toujours vides, et une fuite, très-préjudiciable en cas de sinistre, peut exister sans qu'on le sache; le mode que j'ai adopté laissant toutes les conduites en pression constante et en usage journalier donne la certitude d'un bon fonctionnement au moment de l'emploi.

Ces dispositions spéciales sont complétées par l'installation d'un service permanent fait par d'anciens sapeurs-pompiers qui ont à leur disposition deux pompes et un certain nombre d'extincteurs précieux à l'origine du sinistre.

Les bons résultats que j'ai obtenus de cette organisation m'ont fait croire qu'il pouvait y avoir quelque utilité à les faire connaître à notre Société.

M. le Président remarque que le système décrit dans cette lettre est intéressant, qu'il revient à faire traverser l'atelier par une conduite principale reliée à ses deux extrémités avec les conduites de la ville, et qu'il permet ainsi d'obtenir facilement, à un moment voulu, la même pression que celle qui existe dans ces conduites.

M. le Président donne communication d'une lettre qu'il a reçue de M. Letellier, pour réfuter les critiques adressées à son projet de réseau métropolitain parisien par M. Alphonse Després, dans sa Notice sur le réseau des chemins de fer dans Paris, critiques qui n'ont pas été formulées quand cette Notice a été lue à la Société, et que par conséquent M. Letellier n'a pu combattre.

M. Letellier établit que les cotes noires de son projet, dont M. Després semble contester l'exactitude à la place de la Bastille, sont conformes :

1° A celles inscrites par les ingénieurs de la Ville sur leur plan de Paris en 21 feuilles grand aigle;

2° Aux dessins d'exécution de la gare de la Bastille;

3° A un nivellement exécuté suivant l'axe du tracé dont il s'agit, par l'un des plus habiles conducteurs de travaux du service municipal de Paris;

Et 4° au dessin détaillé de la voûte recouvrant le canal Saint-Martin, sous le boulevard Richard-Lenoir.

Il réfute les critiques adressées au passage du Métropolitain au-dessus de la gare d'Orléans, et celles relatives à la station des Halles Centrales, en faisant remarquer que son tracé étant, contrairement à ce que M. Després a cru voir, tout à fait en dehors du service des voyageurs et de ses dépendances, ne peut défigurer en rien la gare d'Orléans, et que, n'ayant pas projeté de station aux Halles Centrales, il ne comprend pas l'attaque dirigée contre une partie de son travail qui n'existe pas.

Quant aux objections faites par M. Després à la possibilité de traverser la Seine, près de l'Institut, sans de trop grandes difficultés, M. Letellier fait observer qu'elles sont en contradiction :

1° Avec la carte géologique au 1/25 000e du département de la Seine, dressée par M. l'ingénieur en chef Delesse;

2° Avec six sondages exécutés dans le voisinage du tracé, à l'emplacement de l'écluse de la Monnaie;

3° Avec six autres sondages exécutés en 1868, à peu de distance du tracé, près du pont du Carrousel, par ordre de M. Vaudrey, ingénieur en chef de la navigation ;

4° Avec une dizaine d'autres sondages, forages et tranchées exécutés entre la gare Montparnasse et le boulevard Saint-Denis, non loin du Métropolitain projeté;

Et 5° avec une coupe géologique, suivant l'axe de son tracé, entre la rue du Vieux-Colombier et la rue Réaumur, qu'un célèbre ingénieur en chef des mines, précédemment ingénieur des carrières de Paris, a eu la bonté de faire dresser.

« Nos Collègues, dit en terminant M. Letellier, généralement fort occupés, ayant pu croire, d'après les critiques de M. Desprès, que mon projet de chemin de fer dans Paris, bien que dressé avec tout le soin possible par un homme qui dirige depuis vingt ans une partie du service des études d'une des cinq grandes Compagnies françaises de chemins de fer, était basé sur des cotes inexactes ; je viens protester contre une appréciation erronée tendant à infirmer un travail auquel j'ai consacré une partie de ma vie et des milliers de francs, afin que la ville de Paris possède un jour un moyen de transport plus rapide que les fiacres, les omnibus et les bateaux-mouches, et ne chômant pas, comme eux, en temps de brouillard, de verglas ou de hautes-eaux. »

M. le Président donne à la Société quelques détails sur la situation actuelle de l'affaire du tunnel sous la Manche entre la France et l'Angleterre. Il rappelle que, s'éclairant des travaux des géologues et de ceux de M. Thomé de Gamond qui avait consacré plusieurs années de sa vie à des recherches et à la vulgarisation de l'idée d'un tunnel sous-marin, un groupe d'ingénieurs et entrepreneurs anglais avait fait, il y a quelques années, de nouvelles études sur la position et la puissance des bancs de craie reconnus en France et en Angleterre.

Ces études n'ont fait que confirmer dans la pensée que les couches sont continues et, suivant de très-grandes probabilités, sans dislocation.

Des propositions furent faites au Gouvernement Français par les auteurs de ces recherches avec le concours de MM. Chevalier, Talabot, Thomé de Gamond et quelques autres personnes.

Les événements de 1870-1871 vinrent suspendre les pourparlers. Mais de 1872 à 1873 les deux comités Anglais et Français s'adjoignirent de nouveaux adhérents Français et firent une nouvelle demande de concession.

Le projet de tunnel fut mis aux enquêtes et favorablement accueilli par presque toutes les chambres de commerce de France.

Sur ces entrefaites, la Compagnie du chemin de fer du Nord, comprenant l'intérêt dont serait pour elle la voie de communication projetée, et MM. de Rothschild frères de Paris, désireux de concourir à une œuvre aussi importante pour la France et pour l'Angleterre, se joignirent au comité Français et lui offrirent de contribuer, pour les 3/4, dans la somme de deux millions que les promoteurs du projet se proposaient de dépenser en travaux d'essai, sur la rive française, en même temps que pareille somme serait consacrée, par le Comité Anglais, à des travaux analogues en Angleterre.

Cet important concours fut accepté avec empressement. Dans le courant du mois de janvier dernier M. le Ministre des travaux publics a présenté à l'Assemblée nationale un projet de loi de concession du chemin de fer sous-marin.

Tout fait espérer que ce projet sera adopté et la Compagnie se mettra aussitôt en mesure de commencer les travaux d'essai.

Ces travaux consistent principalement dans le forage, au bord de la mer, sur l'axe du tunnel projeté, d'un puits de grand diamètre ou de plusieurs plus petits et dans le percement d'une petite galerie pénétrant sous la mer aussi loin qu'il sera reconnu nécessaire ou que les premiers fonds recueillis le permettront.

MM. Blondel, Bodin, Casalonga, Gailleux, Mercier, Moncharmont, Monin, Soupey, Trémeau ont été reçus membres sociétaires, et M. Hermann-Lachapelle, membre associé.

Séance du 5 Février 1875.

Présidence de M. LAVALLEY.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 22 janvier est adopté.

M. LEMOINE (Émile) décrit un nouvel organe de transmission de mouvement par tiges articulées, dû au colonel du génie Peaucellier, et cite son application au problème de Watt : *transformation* GÉOMÉTRIQUEMENT EXACTE *d'un mouvement rectiligne alternatif (mouvement du piston) en mouvement circulaire alternatif (mouvement du balancier)*.

L'organe se compose de 6 tiges articulées; quatre d'entre elles forment le losange BMCM′, les deux autres tiges OB, OC sont égales; B et C sont des sommets opposés du losange; les trois points O, M, M′ restent toujours en ligne droite, car ces points sont à égale distance de B et de C. Une démonstration géométrique facile établit la relation $OM \times OM' = OB^2 - MB^2$. Ce produit est donc constant quelle que soit la position qu'on donne au système; cela posé, si l'on fixe le point O et qu'on astreigne M à décrire une trajectoire quelconque, M′ décrira une transformée par rayons vecteurs réciproques du lieu de M et cela par définition, puisque l'on a $OM \times OM' =$ constante. On voit donc que le mouvement d'un point M sur une courbe pourra toujours se transformer, dans le mouvement du point M′, sur les transformées par rayons vecteurs réciproques de cette courbe.

Si nous articulons en M une septième tige fixée en un point A, le point M décrira un cercle, et le point M′ décrira une transformée par rayons vecteurs réciproques de ce cercle, c'est-à-dire un autre cercle si MA est $>$ ou $<$ que OA, et une droite si $MA = OA$. Tout cela peut s'établir avec les éléments les plus simples de géométrie, comme on le verra dans la note plus étendue, page 246.

A l'étranger on fait le plus grand cas de cette découverte; M. Sylvester, par exemple, un des plus grands géomètres de l'Angleterre, y a consacré une leçon tout entière à l'institution royale de la Grande-Bretagne; les constructeurs s'en sont immédiatement emparés tant pour les usages vulgaires que pour les applications les plus délicates. Ainsi M. Sylvester cite des pompes de ménage à Londres, et la

machine soufflante qui sert à la ventilation du Parlement, comme fonctionnant avec la transformation du colonel Peaucellier.

On peut appliquer cet organe cinématique à la réalisation de compas divers. Le Conservatoire des Arts-et-Métiers en possède un construit par MM. Brunner d'après les indications du colonel Peaucellier pour décrire des arcs de cercle de grand rayon, et tous les dessinateurs connaissent les difficultés pratiques de ce problème.

Nous savons qu'actuellement la tendance industrielle est de remplacer partout les machines verticales par des machines horizontales, et que cela, au point de vue des machines à vapeur, semble faire perdre au losange articulé beaucoup de son importance; nous n'en croyons rien, car lorsque les constructeurs seront familiarisés avec cet organe, et que son application leur viendra naturellement à l'idée, ils en trouveront des applications variées.

Les plus grands géomètres avaient cherché en vain ce problème, et le parallélogramme d'Evans, la transformation de Sarrus et les nombreuses modifications proposées au parallélogramme de Watt témoignent les efforts tentés dans cette voie; toutes les solutions jusqu'ici étaient approchées ou exigeaient des organes situés dans des plans différents, ou des guides, etc. Peaucellier est le premier qui, par la découverte de l'organe à six tiges (réciprocateur des rayons vecteurs), ait pu transformer géométriquement avec des tiges articulées, situées dans un même plan, un mouvement rectiligne en un mouvement circulaire. M. Tchébicheff, l'illustre membre de l'Académie de Saint-Pétersbourg, avait fait de cette question un but fréquent de ses efforts, et l'analyse doit de beaux travaux aux recherches auxquelles elle a donné lieu; M. Tchébicheff voyant l'inutilité des essais faits par les géomètres, et peu habitué lui-même à trouver une telle résistance lorsqu'il s'attaque à une question, avait cru la transformation impossible géométriquement, et il cherchait à le démontrer pour faire cesser des efforts qu'il croyait inutiles, lorsqu'un de ses élèves, M. Lipkin, ignorant les travaux antérieurs (1864) de Peaucellier, trouva de son côté, en 1871, la transformation dont nous venons de parler. Aussi porta-t-elle le nom de Lipkin jusqu'à ce que le bruit, qui se fit à ce moment autour de la découverte, mit en évidence les droits de priorité du colonel Peaucellier. Le gouvernement russe avait récompensé le jeune géomètre en lui accordant une pension.

M. Mallet reconnaît volontiers que le losange articulé, objet de la communication de M. Lemoine, constitue une solution ingénieuse et intéressante d'un des problèmes les plus étudiés de la cinématique ; il croit toutefois qu'il serait prudent de ne pas se faire illusion sur l'importance des applications possibles de ce mécanisme. Comme M. Lemoine a cité parmi ces applications le guidage rectiligne des tiges de piston des machines à balancier, M. Mallet tient à rappeler qu'il y a pour ce guidage bien d'autres systèmes que le parallélogramme classique de Watt, il y a notamment le système articulé d'Evans qui constitue une solution élégante et en même temps rigoureuse du problème, et qui, plus ou moins modifié dans les détails, a été très-fréquemment employé jadis, surtout dans les machines à bielle directe. Mais il existe, dans le cas qui nous occupe, une solution éminemment pratique et bien supérieure à tous les appareils articulés, c'est l'emploi de guides et de glissières.

Les Américains, dont on ne contestera pas l'esprit mécanique, n'ont jamais employé de parallélogrammes, mais toujours des guides, dans leur type si répandu de machines de bateau à balancier supérieur et à longue course.

Les constructeurs écossais ont fait, à une certaine époque, beaucoup de machines à hélice à balancier supérieur, presque toujours avec des guides. Enfin dans la machine

classique des remorqueurs anglais à roues, connue en marine sous le nom de machine sauterelle (*grass-hopper engine*), où la transmission se fait par des balanciers latéraux formant levier du second genre, l'emploi des parallélogrammes est extrêmement rare.

Dans ces exemples, l'usage des guides est d'autant plus rationnel que les obliquités des bielles qui relient la tige du piston au balancier sont assez faibles, et que dès lors les réactions latérales et les frottements qui en résultent sont peu considérables. On peut avoir ainsi de grands angles d'oscillation pour le balancier ou réciproquement des balanciers très-courts, avantage qui a été revendiqué par M. Lemoine pour l'appareil Peaucellier.

Mais, si on laisse de côté les machines à balancier abandonnées presque partout pour *toutes* les applications où elles étaient autrefois en faveur, on peut rappeler que tous les systèmes de parallélogrammes ont été à une certaine époque très-employés dans les machines à bielle directe; cependant on y a aujourd'hui à peu près absolument renoncé pour revenir à l'emploi des guides, bien que dans ce genre de machines les guides soient dans de plus mauvaises conditions que dans les machines à balancier à cause de l'obliquité plus grande que peuvent prendre les bielles souvent assez courtes, et bien que les parallélogrammes présentent une ressource précieuse pour les transmissions secondaires, telles que celles des pompes à air, alimentaire, de cale, etc.

Il faut bien dire que dans les machines ce sont les frottements anormaux qui sont surtout à craindre; si l'emploi des parallélogrammes peut être préférable théoriquement à celui des guides, l'usure d'articulations aussi nombreuses que celles du losange Peaucellier, le déréglement des axes et la flexion des pièces, peuvent produire des résistances très-considérables en pratique.

M. Mallet ne croit pas pouvoir se dispenser de présenter des observations, en voyant la question portée sur le terrain des machines à vapeur, mais toutefois il admet volontiers que pour d'autres applications, notamment pour les mouvements délicats, les instruments de précision ou même certaines machines-outils, l'appareil Peaucellier peut rendre des services.

M. le Président remercie M. Lemoine de sa communication; il voit, dans le système articulé qui en fait l'objet, une solution théorique ingénieuse; cette solution étant une fois connue, les praticiens verront à en tirer parti pour les applications.

M. Lippmann présente à la Société la carte hydrologique du département de Seine-et-Marne, par M. Delesse.

La *Carte hydrologique du département de Seine-et-Marne* a été exécutée sur la carte d'état-major, réduite à l'échelle du 1/100 000e.

Le *relief du sol* y est figuré par des courbes résultant de l'intersection de plans horizontaux, espacés de 20 mètres. Ces courbes, tracées en noir et très-fines, portent des cotes donnant leur altitude au-dessus du niveau de la mer; elles marquent bien les élévations ainsi que les dépressions du sol et, par cela même, elles indiquent aussi le mode d'écoulement des eaux à la surface. Le point le plus élevé du département est Saint-Georges, près de la limite de l'Aisne, à 215 mètres; le point le plus bas, Seine-Port, à 37 mètres.

Les *nappes d'eau* représentées par la carte hydrologique sont visibles et superficielles, ou bien invisibles et souterraines.

Les *nappes souterraines* sont très-complexes; elles proviennent des eaux de l'atmosphère qui, tombées à l'état de pluie, s'infiltrent dans l'intérieur du sol et descendent, en vertu de la pesanteur, jusqu'à ce qu'elles rencontrent des couches imperméables. Leur puissance est d'autant plus grande qu'elles sont alimentées par un bassin hydrographique plus étendu et recouvertes par une épaisseur plus grande de couches perméables. Les nappes souterraines supportées par des couches imperméables étant assez nombreuses, on a dû se borner à représenter les principales, celles qui ont été distinguées correspondent aux couches suivantes : 1° *l'argile à meulières de Beauce* et les veines d'argile qui, dans l'arrondissement de Fontainebleau, sont intercalées dans le calcaire lacustre de cet étage ; 2° *les glaises vertes*, qui ont été réunies aux *argiles à meulières de Brie*; 3° *l'argile plastique*, qui comprend plusieurs couches argileuses.

Il existe bien encore d'autres nappes qui sont supportées par des couches imperméables, intercalées dans les différents étages tertiaires, mais elles sont irrégulières et peu continues.

Parmi les nappes souterraines, on désigne sous le nom de *nappes d'infiltration* celles qui bordent les rivières, les ruisseaux, les étangs, et en général les nappes superficielles. Elles ne sont pas immédiatement superposées à des terrains imperméables; mais elles proviennent des eaux souterraines ou superficielles qui pénètrent à travers les divers terrains perméables encaissant les rivières. Elles s'élèvent ou s'abaissent avec ces dernières; elles sont en relation avec leur débit et avec la perméabilité des terrains dans lesquels elles coulent. Dans le département de Seine-et-Marne, les terrains perméables baignés par ces nappes sont surtout le terrain de transport des vallées et la craie blanche.

Toutefois il existe encore des nappes d'infiltration dans les divers terrains plus ou moins perméables qui sont traversés par des rivières, notamment dans les calcaires lacustres de la Beauce, de la Brie et du Multien, dans les sables supérieurs ou de Fontainebleau, dans les sables moyens qui sont si développés dans les vallées de l'Ourcq et de la Marne, dans le calcaire grossier et dans les caillasses qui le recouvrent.

Mode d'exécution. — On s'est proposé de figurer sur la carte hydrologique de Seine-et-Marne la surface supérieure des nappes souterraines. Pour y parvenir, il fallait déterminer, par des nivellements, les cotes de l'eau dans un grand nombre de puits, formant une sorte de réseau s'étendant sur tout le département. Ces nivellements demandaient à être faits à une même époque, parce que les nappes souterraines, surtout les nappes d'infiltration, subissent des variations avec les cours d'eau ; ils ont été exécutés, pour la plupart, dans la seconde moitié du mois de juillet 1869, par plusieurs géomètres particuliers et par le service des ponts et chaussées, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Marx.

Partant de l'étude géologique du sous-sol, et comparant les altitudes des diverses couches, M. Delesse a cherché à reconnaître par quelle nappe souterraine chaque puits se trouvait alimenté. Souvent il était assurément très-difficile de le discerner, car peu de sondages et de travaux souterrains ont été faits dans Seine-et-Marne ; quoi qu'il en soit, il s'est efforcé de grouper ensemble les puits qui appartenaient à une même nappe. De cette manière, on avait une surface qui était définie par un certain nombre de cotes, en sorte qu'il était possible de déterminer son intersection par des plans horizontaux, c'est-à-dire ses courbes horizontales.

Résultats principaux: — La carte hydrologique de Seine-et-Marne montre d'abord, en ce qui concerne les *nappes superficielles*, que, pour la Seine, la cote la plus basse, à l'étiage, est de 33 mètres, près de Seine-Port; tandis que pour la Marne elle est de 38 mètres, près de Noisiel. Dans la traversée du département, la pente moyenne est de 0m,00023 par mètre pour la Seine, et seulement de 0m,00014 pour la Marne.

Des mares se rencontrent à différentes altitudes, et leur cote s'élève même jusqu'à 200 mètres.

Les *nappes d'infiltration* se raccordent avec les rivières dans lesquelles elles vont se déverser. Elles imbibent le terrain de transport des vallées qui occupe de grandes étendues sur les rives de la Marne et surtout de la Seine. A l'entrée de la Seine dans le département, et vers son confluent avec l'Yonne, la nappe d'infiltration s'élève à 60 mètres au-dessus du niveau de la mer; il en est de même pour l'Ourcq, près de Crouy, tandis que, près de Citry, la nappe d'infiltration du terrain de transport de la Marne reste à un niveau moins élevé.

Il existe également des nappes d'infiltration dans les couches plus ou moins perméables qui se trouvent comprises entre les glaises vertes et l'argile plastique. Ainsi, dans l'arrondissement de Meaux, elles traversent le calcaire lacustre, les sables moyens, le calcaire grossier, et elles communiquent avec la Marne.

Une nappe d'infiltration imbibe la craie qui affleure vers Montereau et dans le S.-E. du département. Sa cote est supérieure à 100 mètres à Villebéon et à Gurcy-le-Chatel, mais inférieure à 60 mètres à Bagneaux, à Cannes-aux-Ormes et à Bazoches-les-Bray. La pente s'élève à 0m,015 au bord de l'Yonne. Cette nappe d'infiltration de la craie s'écoule dans le lit des rivières voisines.

Toutes les nappes d'infiltration ont leurs courbes horizontales symétriquement placées sur les deux rives du cours d'eau avec lequel elles sont en communication; ces courbes se croisent sous un très-petit angle dont le sommet est tourné vers l'amont.

Considérons maintenant les autres nappes souterraines.

Celles des *argiles à meulières de Beauce* se rencontrent seulement vers le sommet des collines les plus élevées. Dans le bois de Montgé, où elles se trouvent à peu près à 200 mètres, elles donnent lieu à de petites mares qui occupent le fond des anciennes exploitations de meulières, et qui peuvent se dessécher pendant une partie de l'année.

La nappe des *glaises vertes* est de beaucoup la plus importante de la Brie; elle alimente les puits ordinaires sur tout le plateau formant cette région naturelle. Elle alimente aussi les sources nombreuses qui, sur les flancs du plateau, se montrent au niveau des affleurements des glaises vertes.

Dans les parties où les glaises vertes ne sont pas recouvertes par le calcaire de Brie, il existe souvent des mares.

La nappe des glaises vertes est très-élevée au Nord et à l'Est du département, car elle atteint 200 mètres au-dessus du niveau de la mer à Heurtebise, 194 mètres à Bois-Retz, 180 mètres à Vignory; d'un autre côté, elle descend à 60 mètres vers Fontainebleau, et même à 55 mètres à Pringy, dans l'arrondissement de Melun, en sorte que cette nappe plonge du Nord-Est vers le Sud-Ouest, comme la couche qui la supporte. La pente à sa surface est en moyenne de 0m,003 par mètre. Pour un plateau isolé, la nappe des glaises vertes s'incline d'ailleurs fortement sur les bords du plateau.

La nappe de l'*argile plastique* alimente des puits dans le sud du département, aux environs de Provins et de Lorrez-le-Bocage. Dans ces derniers cantons, les puits traversent quelquefois les couches d'argile plastique pour aller atteindre au-dessous la nappe d'infiltration qui imbibe la craie.

La nappe de l'argile plastique s'élève à plus de 150 mètres à Villemaugis et près de Chalautre-la-Grande. Elle se retrouve, mais seulement sur de petites étendues, dans le nord du département, en particulier vers Saint-Aulde, dans la vallée de la Marne.

Lorsqu'on voudra connaître, sur un point du département, à quelle profondeur il faut creuser pour atteindre la nappe d'eau qui alimente les puits ordinaires, on commencera par évaluer approximativement la cote du sol, ce qui sera facile à l'aide des courbes horizontales qui figurent son relief; on évaluera de même, sur ce point, la cote de la nappe d'eau souterraine à l'aide des courbes horizontales qui figurent sa surface; la différence de ces deux cotes donnera la profondeur du puits.

D'après le mode adopté pour représenter les nappes souterraines, il importe du reste d'observer que l'abondance de l'eau rencontrée, lorsqu'on percera un puits, dépendra beaucoup de l'endroit qui aura été choisi; elle sera plus grande vers le fond des thalwegs existant à la surface supérieure de la nappe d'eau et aussi lorsque les terrains perméables en recouvrement auront beaucoup d'épaisseur, tandis qu'elle sera plus petite vers le faîte de la nappe souterraine et à l'amont de son pendage. Sur les bords des plateaux, et près des affleurements d'une nappe souterraine supportée par une couche argileuse, l'eau peut même manquer presque entièrement.

Si l'on examine, sur la carte hydrologique de Seine-et-Marne, comment sont réparties les terres dans lesquelles on a fait le drainage, on reconnaît qu'elles sont presque exclusivement au-dessus des glaises vertes et des argiles de Brie. Quelques-unes se trouvent aussi au-dessus des marnes argileuses du gypse; mais il n'y en a pas sur les terrains perméables.

Pour la recherche des nappes souterraines, surtout de celles qui sont jaillissantes, il est utile de connaître le *relief de la craie*, car elle forme le bassin au fond duquel se sont successivement déposées les couches imperméables du terrain tertiaire qui supportent ces nappes. Or la craie se montre à la surface dans le sud-est du département et plusieurs sondages l'ont atteinte dans les parties où elle est recouverte par le terrain tertiaire; c'est à l'aide de ces données qu'on a cherché à figurer approximativement son relief.

Le système employé est celui de courbes horizontales qui sont combinées avec des teintes.

La *craie* présente un vaste bassin dont la profondeur augmente vers le Sud-Ouest et aussi à l'Ouest, vers Paris. Sa cote tombe au-dessous de — 50 dans le triangle limité par Claye, le Gouffre et Melun. Ce bassin a une pente qui est environ de 0,003 vers le Nord et qui atteint presque le double vers le Sud. Ses parois sont très-relevées dans cette dernière direction; de plus, elles ont été profondément ravinées par la Voulzie, la Seine, l'Yonne, l'Orvanne, le Lunain et le Loing; il est à remarquer que ces rivières se réunissent vers Moret, en formant un éventail.

Les *glaises vertes* et l'*argile plastique* s'inclinent vers le S.-O., de même que la craie sur laquelle elles se sont modelées et dont elles reproduisent le relief en l'atténuant. Au sud du département, elles offrent des dépressions bien accusées dans la vallée de la Voulzie et à Provins, mais surtout dans la grande vallée de la Seine et

à Moret, vers le confluent du Loing. Les courbes des glaises vertes sont fermées sur chaque plateau et s'allongent suivant sa direction ; près de ses bords, elles dessinent des festons parallèles et leurs cotes s'abaissent rapidement.

En résumé, la *carte hydrologique du département de Seine-et-Marne* fait connaître le mode d'écoulement des eaux superficielles ou souterraines. Elle donne la position et la forme des nappes, et aussi la profondeur à laquelle on peut les atteindre ; de plus, elle permet de saisir facilement les rapports qui existent entre les nappes d'eau et la constitution géologique du sol.

Je termine, Messieurs, en rappelant que nous devons déjà à l'éminent ingénieur et savant qui m'honore aujourd'hui de la mission de vous présenter cette carte, de grands travaux exécutés en quelque sorte dans le même ordre d'idées : Je veux parler de la *Carte géologique souterraine du département de la Seine*, de la *Carte géologique souterraine* et de la *Carte hydrologique de la ville de Paris* ; et je suis heureux de pouvoir vous annoncer que M. Delesse s'occupe déjà des autres départements circonvoisins.

Je suis persuadé que vous vous associerez tous, Messieurs, au vœu que je forme de voir la France dotée d'un semblable travail pour l'ensemble de tous nos départements, travail qui sera le complément naturel de celui qui est en voie de s'accomplir pour l'établissement de la grande carte géologique ; car je n'ai pas à insister pour faire voir les services immenses qu'en tireraient l'agriculture, l'industrie, les municipalités, etc., par les données sûres qu'elles y puiseraient pour la solution des grandes questions d'irrigation, d'alimentation des usines et des villes.

M. LE PRÉSIDENT dit que la Société doit s'associer au vœu que M. Lippmann vient de formuler. Nous n'avons pas encore en France de travaux d'ensemble pouvant guider les ingénieurs dans la recherche des courants souterrains et nous sommes, sous ce rapport, en retard sur d'autres nations voisines. Maintenant, surtout, qu'on se préoccupe vivement de l'amélioration de nos voies navigables, il serait d'une *grande nécessité* que nous ayons des cartes donnant pour chaque bassin les courbes de niveau des eaux souterraines.

M. GILLOT. Ce travail est très-difficile à réaliser, car on n'est pas d'accord sur les causes qui ont donné au sol le relief qu'il présente aujourd'hui. Bien qu'il soit généralement admis que les montagnes résultent de soulèvements de la croûte terrestre, il y a des géologues qui ne sont pas de cet avis et qui prétendent qu'il n'existe pas de preuve certaine de ces soulèvements.

M. LIPPMANN. Ils admettent alors au moins les affaissements.

M. LE PRÉSIDENT. Peu importe la cause des déformations qui existent, l'essentiel est de connaître ces déformations et c'est ce qui nous intéresse dans ce moment.

M. BERTIN donne communication de son Mémoire sur les travaux de reconstruction du pont d'Andé sur la Seine.

La traversée de la Seine, entre Saint-Pierre du Vauvray et Andé (chemin de grande communication de Ménesqueville à Louviers (Eure), comprend deux ponts : celui de Saint-Pierre, composé de trois arches métalliques en fonte, et celui d'Andé, composé de quatre arches semblables de 30 mètres d'ouverture.

Le Mémoire explique comment le pont de quatre arches fut détruit pendant la guerre de 1870 par l'autorité militaire française, remplacé en 1872 par une passerelle provisoire en bois, et enfin reconstruit en 1874.

Les travaux se sont appliqués : 1° à la démolition des piles, jusqu'au niveau de l'eau ; 2° à la démolition, faite au-dessous de l'eau, à l'abri de batardeaux et par épuisements pour pouvoir reconnaître l'état des fondations ; 3° à la construction de ces batardeaux qui ont dû être exécutés d'une manière spéciale et coûteuse, à cause du système même de la fondation ancienne ; 4° à la reconstruction des piles et à la réparation des culées ; 5° à la construction des arches métalliques ; 6° à celle des voûtes en briques supportant la chaussée et les trottoirs, et à l'établissement de ceux-ci.

Quelques détails sont donnés sur le matériel employé aux travaux, sur les draguages, les épuisements, les enrochements des piles, sur les cintres de montage, sur les arches métalliques nouvelles et les quelques différences qu'elles présentent avec les anciennes, enfin, sur le calcul de la surflèche à donner aux arcs au montage, en tenant compte des effets de la température, de manière à obtenir la flèche indiquée au projet lorsque le pont supporte la charge permanente de la chaussée et des trottoirs.

Les résultats pratiques contatés par de nombreux nivellements ont parfaitement vérifié les formules de M. Bresse, sur lesquelles le calcul théorique était fondé.

M. Bonnin indique ensuite les divers modes de calcul qui ont été employés pour déterminer la section des arcs à la clef et aux naissances, et celle des poutrelles en fer qui supportent la chaussée, et pour s'assurer de la stabilité des piles et des culées. Il donne sommairement le résultat de ces calculs, et, avant de décrire les épreuves qui ont eu lieu suivant les règlements administratifs, il rend compte des divers éléments de là dépense totale de la reconstruction du pont.

A propos des épreuves, qui ont été faites avec un grand soin, le mémoire fait ressortir la concordance à peu près complète qui existe entre les flexions produites par les divers acroissements de la charge avec celles qui ont été calculées théoriquement par les formules de M. Bresse. Pour rendre les résultats comparables, on a eu soin de ramener les observations et les nivellements à ce qu'ils seraient à une même température, soit à celle de 10 degrés centigrades.

Au mémoire sont joints les dessins complets des différentes parties de l'ouvrage.

M. de Dion. D'après la description donnée par M. Bonnin, la surflèche des arcs a été produite par le serrage simultané des cales d'intrados et d'extrados aux naissances. La courbe des pressions devait donc, après ce serrage, passer aux naissances près de l'axe neutre. Lorsque ensuite, par la construction des voûtes, la charge permanente, qui en est résultée, en a produit l'aplatissement des arcs, la courbe des pressions a été reportée vers les cales d'intrados qui supportent alors la plus grande partie de la poussée. Pour éviter ce déplacement et arriver à rapprocher la courbe des pressions de l'axe neutre, il conviendrait de produire la surflèche des arcs par le serrage des cales d'extrados ; et alors, les cales d'extrados ne porteraient plus, elles devraient seulement être réglées suivant l'indication du calcul. La courbe des pressions passerait ainsi à l'extrados ; puis, lorsque la charge permanente viendrait à agir, aplatirait l'arc et appliquerait sur les cales inférieures d'extrados, les joints de naissances, cette courbe des pressions se rapprocherait de l'axe neutre, car la poussée se répartirait également sur les cales.

M. Bonnin. On a obtenu à peu près ce résultat par la surflèche donnée au montage, mais on n'a pas opéré comme l'indique M. de Dion.

M. Badois. Il existe un autre mode de procéder qui donne satisfaction à l'idée

émise par M. de Dion. La surflèche est donnée au rabotage des joints des voussoirs à l'usine, de telle sorte que les voussoirs rabotés et réunis les uns aux autres constituent un arc dont la flèche est un peu supérieure à celle qu'on doit obtenir en définitive. Il en résulte que l'arc est relevé par avance de tout l'abaissement qu'il subira par l'application de la charge.

M. de Dion. Quand les pressions, dans une section d'arc, sont inégalement réparties, elles produisent un raccourcissement plus considérable du côté où elles sont plus intenses, et il en résulte une modification dans la courbure de l'arc. Pour que la courbe des pressions reste dans le centre de gravité des sections d'un arc, il faut que la courbure de l'arc ne change pas. On y arrive en diminuant la corde de l'arc initial de toute la quantité correspondante au raccourcissement qu'il subira par la compression due à la charge permanente. Dans le mode d'opérer indiqué par M. Badois, la courbure initiale de l'arc est modifiée, aussi la charge permanente doit reporter la pression sur les cales d'intrados.

M. Badois. C'est vrai, la déformation est produite par la compression même du métal qui a aussi pour effet de diminuer le développement de l'arc, ainsi que son angle au centre et sa flèche, mais au fur et à mesure que cet effet se produit, l'ouvrier monteur agit de son côté sur les cales de manière à les tenir toujours en prise. Ces cales sont provisoires et formées de deux coins très-aigus et superposés inversement l'un par rapport à l'autre; elles ne sont remplacées par les cales définitives que lorsque le pont est complétement achevé. On comprend qu'ainsi la position de la courbe des pressions doive très-peu varier.

Le système proposé par M. de Dion laisserait en pratique une certaine indécision. L'ouvrier saurait-il exactement de combien il doit relever l'arc en agissant sur les cales supérieures, et arriverait-il au résultat cherché? Ce serait très-délicat, car il n'aurait rien pour se guider, tandis que le mode qui vient d'être décrit est très-sûr; l'ouvrier sait en effet exactement s'il obtient un serrage égal sur toutes les cales : 1° par son oreille qui perçoit alors un son semblable au coup de marteau, et 2° par la résistance qu'il éprouve à faire avancer les cales.

M. le Président remercie M. Bonnin de son intéressante communication, il prie M. Badois, vu l'heure avancée, de vouloir bien remettre à la prochaine séance les détails qu'il s'est offert à donner sur quelques autres ponts en fonte reconstruits depuis la guerre par la maison Georges Martin.

M. Marché termine l'analyse qu'il avait commencée dans une précédente séance, du livre de M. Fontaine sur les machines les plus remarquables de l'Exposition de Vienne.

Il complète l'examen de la partie relative à la métallurgie, par la description du procédé Siemens, pour la fabrication directe du fer et de l'acier, et en signalant la fabrication spéciale des fers laminés, étirés et dressés *à froid* de l'usine de Pittsburg, qui donne des produits de dimensions aussi rigoureuses que par l'emploi du tour et de la raboteuse, en augmentant d'une manière notable la résistance et la dureté du métal.

Il passe ensuite rapidement en revue les chapitres relatifs aux machines-outils, aux machines et aux chaudières, et décrit la chaudière *Meyre* dont les dispositions permettent d'obtenir une production considérable de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et de surface de grille, avec un emplacement restreint, ce qui lui

donne une réelle supériorité par l'emploi dans les forges. L'usine Krupp à Essen a 49 de ces chaudières en service ou en cours de montage.

On trouve également dans l'ouvrage de M. Fontaine des détails intéressants sur l'exposition des chemins de fer, locomotives et matériel fixe et roulant, sur l'hydraulique et les travaux publics.

M. Marché termine par quelques détails sur le chapitre des *petits moteurs industriels*, dans lequel M. Fontaine à présenté avec clarté et avec compétence l'état actuel de l'intéressante question de la construction d'un moteur permettant de mettre à peu de frais à la disposition de l'ouvrier en chambre un travail de 5 à 20 kilogrammètres par seconde. Le problème n'est pas encore résolu, mais des tentatives assez heureuses permettent d'en espérer la prochaine solution, et parmi ces tentatives il convient de signaler les moteurs : Schmid (emploi de l'eau des distributions), Otto et Langen (emploi du gaz), Lehmann (air chaud) et Hippolyte Fontaine (vapeur), et enfin le projet de M. Frédéric Siemens, caractérisé par l'absence de tout mécanisme articulé, et dans lequel le générateur est mis en rotation directement par la vapeur.

MM. Dallemagne, Joubert, Lecellier, ont été admis comme membres sociétaires, et MM. Chaize et Michelet comme membres associés.

Séance du 19 Février 1875.

Présidence de M. Lavalley.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 février est adopté.

M. Germain, ingénieur hydrographe, demande à répondre à la note que M. Dornès a communiquée à la Société dans la séance du 4 décembre dernier, sur le *canal Saint-Louis et les embouchures du Rhône*. Comme il a été beaucoup question de moi dans cette note, dit M. Germain, j'ai désiré répondre en quelques mots aux critiques, d'ailleurs fort courtoises, dont a été l'objet le rapport que j'ai adressé au Ministre de la marine et à celui des travaux publics, après la mission que j'avais été chargé de remplir à l'embouchure du Rhône.

M. Dornès m'accuse d'avoir beaucoup exagéré, d'une part, le danger de l'ensablement qui menace le golfe de Foz où débouche le canal Saint-Louis, de l'autre, l'insalubrité de la Camargue.

Sur le premier point, je crois que M. Dornès n'a pas lu avec assez d'attention le rapport dont il parle : car il aurait vu que mes conclusions peuvent se résumer ainsi : le canal Saint-Louis est fait, il sera peut-être appelé à un grand avenir, et il ne peut, il ne doit venir à l'idée de personne de l'abandonner; il importe donc de

ne pas fermer la porte aux bâtiments qui voudraient le fréquenter, et pour cela il est indispensable, urgent, d'arrêter l'avancement vers l'est de l'embouchure du Rhône.

Je n'ai pas besoin d'ajouter, par conséquent, que je n'ai jamais proposé d'abandonner le canal Saint-Louis pour reprendre l'idée d'élargissement du canal d'Arles à Bouc.

Quoiqu'il reconnaisse, plus loin, que l'avancement continuel des terres vers l'Est, par suite des apports du Rhône, constitue un danger dont il faut se préoccuper, M. Dornès affirme que l'exhaussement du fond, dans la partie du golfe de Foz qui avoisine le canal, est antérieur à 1865, époque où les travaux ont été commencés; il serait même, selon lui, antérieur à l'exécution des digues du Rhône, et aurait eu pour cause unique le déversement, par quelques graus ou embouchures d'étangs, d'une partie des eaux du fleuve dans le fond du golfe. Cette opinion n'est pas soutenable, dès qu'on remarque que dans le Nord du canal Saint-Louis le cordon littoral ne s'est pas modifié, ce qui n'aurait pas manqué d'arriver sur les deux rives des graus dont parle M. Dornès; les changements se sont produits du large vers la côte; s'ils sont encore considérables dans les fonds de 10 mètres, ils sont nuls à la plage; ils ne peuvent donc être attribués qu'aux apports du bras actuel du Rhône que l'on a eu la malheureuse idée d'endiguer en le chargeant seul de porter à la mer par an 17 millions de mètres cubes de matières en suspension, et cela dans la direction précisément opposée à celle des vents de Sud-Est qui exercent le plus d'action sur les eaux et produisent seuls les courants que l'on constate près de la côte. En perdant de leur vitesse, les eaux du fleuve laissent déposer une partie des sables et des vases qu'elles charrient, sont refoulées par les vents de Sud-Est sur les côtes voisines de l'embouchure où elles continuent leurs dépôts, et contribuent ainsi chaque jour à l'avancement vers l'Est de l'estuaire du Rhône, et à l'exhaussement du fond du golfe de Foz jusqu'au delà du canal Saint-Louis.

Tant que cet état durera, le golfe sera dans des conditions de plus en plus mauvaises, et l'avenir du canal sera gravement menacé; il ne faut donc pas déclarer que ce golfe est désormais à l'abri de toute modification fâcheuse, mais au contraire, puisque l'exhaussement progressif est mathématiquement constaté, il faut s'efforcer de l'arrêter en modifiant l'état actuel qui est aussi mauvais que possible. Pour moi, il est hors de doute que, si les embouchures du Rhône étaient restées ce qu'elles étaient en 1841, aucune modification ne se serait produite dans l'anse du Repos, qui sert de rade au canal Saint-Louis.

J'ai montré dans mon rapport que les difficultés d'accès du golfe étaient telles que le louvoyage de nuit n'était pour ainsi dire plus possible, dans les circonstances où les bâtiments sont obligés d'y recourir, c'est-à-dire avec les vents de Nord-Nord-Ouest qui soufflent en moyenne 140 jours par an.

M. Dornès déclare que, de l'avis de marins très-expérimentés, mes conclusions sont tout à fait exagérées. Je répondrai d'abord, que j'ai moi-même navigué dans le golfe journellement pendant quatre mois, tant à la voile qu'à la vapeur, pour étudier spécialement les conditions nautiques de ces parages. Je demanderai donc quels sont les marins dont parle M. Dornès, et je m'étonnerai que depuis que le canal est ouvert, il n'y soit pas entré un seul bâtiment de commerce, du moins à ma connaissance.

Pendant mon séjour à Saint-Louis, la *Diligente* s'est toujours trouvée seule dans le bassin.

J'ajouterai enfin que, si les navires viennent se réfugier souvent dans le golfe, et principalement dans l'anse du Repos, c'est pendant les mauvais temps du large, c'est-à-dire avec vent arrière ou grand largue; dans ces conditions la largeur du golfe est de peu d'importance. Il n'en est pas de même avec le mistral qui donne plus de vitesse aux eaux sortant du fleuve, et s'oppose par conséquent de deux manières à l'entrée des bâtiments dans le golfe.

Cet immense inconvénient suffirait à lui seul pour ruiner le canal Saint-Louis; il ne disparaîtra que quand l'embouchure du Rhône aura été reportée vers l'Ouest, ainsi que je l'ai proposé.

J'arrive maintenant à l'insalubrité de la Camargue que M. Dornès me reproche d'avoir comparée à celle de Madagascar où j'avais précédemment passé plus d'un an, sans avoir eu un seul accès de fièvre. A Saint-Louis, l'équipage de la *Diligente* a été cruellement éprouvé, et j'ai moi-même, pendant plus d'un an, vu revenir les accès de la fièvre que j'avais contractée, malgré toutes les précautions possibles. Car, quoi que dise M. Dornès, l'équipage de la *Diligente* n'a jamais couché sur le pont; j'aurais été très-coupable de l'autoriser à le faire, et je connaissais trop bien les précautions à prendre dans les pays marécageux, pour oublier à ce point mes devoirs de chef de mission. D'ailleurs il serait, pendant l'été, impossible de dormir dehors à cause des moustiques qui, dès le coucher du soleil, s'abattent sur l'homme, le dévorent avec une férocité hors de proportion avec leur taille, et font de telles piqûres qu'il en résulte souvent des plaies fort longues à guérir.

Comment M. Dornès peut-il déclarer que, d'après les registres de l'état civil depuis 1868, la mortalité n'a pas été plus grande à Saint-Louis qu'à Arles? Est-ce à moi à lui apprendre que tout malade est transporté à la hâte à l'hôpital d'Arles, qui assume ainsi la responsabilité de sa mort? On ne meurt jamais à Saint-Louis; ce serait donc le paradis terrestre s'il fallait s'en rapporter aux statistiques. Malheureusement on ne peut nier que les travaux du canal ont été deux fois interrompus pendant l'été, parce que plus de la moitié des ouvriers en chantier avaient été transportés à Arles, pour y être soignés.

Pour moi, il n'est pas douteux que le climat de la Camargue soit l'un des plus malsains qu'on puisse citer. On a malheureusement commencé par où l'on aurait dû finir; il fallait, avant tout, assainir le pays, donner de l'écoulement aux eaux, empêcher les envahissements par la mer de cette plaine immense formée par la vase du Rhône; il fallait créer des voies de communications, améliorer le cours du fleuve, avant de creuser un port de 6 mètres de profondeur qui a coûté 18 millions et que pas un bâtiment ne peut encore fréquenter avec avantage. Il ne fallait pas laisser croire à la possibilité d'une ligne de navigation continue entre Arles, Marseille et des ports bien plus éloignés, pour hâter l'exécution d'un travail qui n'a pas eu jusqu'à présent d'autre résultat que de donner une plus-value momentanée aux actions et aux terrains de compagnies particulières.

Un jour viendra, peut-être, où le canal Saint-Louis pourra être utilisé; je le crois encore éloigné; le seul moyen de préparer l'avenir est de modifier le cours du Rhône, non-seulement en amont du canal, mais encore à l'embouchure qui actuellement travaille sans cesse à rendre plus défectueuse une situation déjà fort médiocre par elle-même.

M. Molinos. Cette question intéresse non-seulement la batellerie du Rhône, mais encore la navigation intérieure de toute la France. On ne remarque pas assez, en effet, combien tous les éléments qui constituent notre réseau de voies navigables

sont solidaires les uns des autres; on ne pourra pas établir une batellerie de quelque importance sur le canal de Bourgogne, la Saône, les canaux de l'Est, etc., si le Rhône ne vient alimenter ces diverses artères, et le Rhône lui-même ne pourra servir à rien s'il n'est pas en communication avec la mer. Le port Saint-Louis était donc indispensable, et il serait très-fâcheux que les 18 millions consacrés à ce travail par l'État pussent devenir une dépense improductive par suite des obstructions qui se produiraient dans un avenir même éloigné. Il était bien naturel de croire que les études qui ont dû être faites, avant l'exécution d'une œuvre de cette importance, avaient démontré que le projet était à l'abri des dangers dont il est menacé suivant M. Germain; s'il n'en est pas ainsi, il faut au moins se féliciter qu'il existe une solution simple comme celle qu'indique M. Germain, et il faut alors en poursuivre l'application la plus prompte possible.

M. le Président. D'où vient la difficulté d'entrer dans le golfe de Foz? Peut-on y mouiller?

M. Germain a déjà expliqué que, pour arriver à Saint-Louis, il fallait rester dans l'Est et voir le feu de ce port. Quant au mouillage, il est difficile, parce que les bâtiments se trouvent au-dessus de fonds de plus de 30 mètres, et sont repoussés au large par le courant du Rhône. Le feu qui existe au cap Couronne n'est plus utile pour entrer dans le golfe de Foz, sitôt que son parallèle a été dépassé; quant aux sondages, ils ne donnent que des indications incertaines de l'approche de la barre, et M. Germain peut citer ce qui s'est passé pour le bâtiment qu'il montait: ce dernier s'est échoué sur un fond de 3 mètres, peu après l'indication de 20 mètres de profondeur donnée par la sonde.

M. le Président demande pendant combien de jours par an il est difficile d'aborder? La difficulté n'est-elle pas la même pour les voiliers qui veulent entrer à Marseille?

M. Germain. Plusieurs vents sont défavorables, et parmi eux le mistral qui souffle pendant 145 jours. Les vents du large ne s'opposent pas à l'entrée, mais ils rendent la mer très-grosse.

A Marseille, il est peu de voiliers qui ne trouvent avantage, aujourd'hui, à se faire remorquer pour l'entrée. L'établissement d'un service de remorquage ferait certainement gagner des jours, au point de vue de la facilité de l'entrée dans le golfe de Foz. Néanmoins le mistral gênerait encore.

Il persiste à croire que le canal sera plus utile lorsqu'on aura amélioré le Rhône entre Saint-Louis et Arles.

M. Molinos fait remarquer qu'il ne servirait à rien d'améliorer le Rhône de Saint-Louis à Arles, comme le demande M. Germain. Ce qu'il faut, c'est l'amélioration du Rhône de Saint-Louis à Lyon. A ce propos, il ne faut pas s'étonner que le port Saint-Louis ne soit encore en possession d'aucun trafic, attendu que, si un navire y amenait une tonne de marchandise, il n'y aurait aucun moyen de l'enlever.

Le chemin de fer d'Arles à Saint-Louis n'existe pas encore; quant à la batellerie du Rhône, son matériel est absolument impropre à exploiter le fleuve aujourd'hui; elle est exposée à des chômages de 4 mois, et il est bien facile de comprendre qu'aucune opération commerciale ne peut être basée sur de pareils moyens de transport. M. Germain paraît considérer l'exécution du port Saint-Louis comme prématurée. Il faut bien s'entendre sur cette question. Le développement de la navigation du Rhône et de ses affluents repose sur deux termes nécessaires : la navigabilité du

Rhône et sa mise en communication avec la mer. Il est hors de doute que l'État aurait dû mener de front la solution de ces deux questions connexes, et en même temps qu'on dépensait 18 millions à Port-Saint-Louis, en dépenser 38 à achever les travaux du Rhône de Saint-Louis à Lyon. Mais la navigation intérieure de la France n'est pas accoutumée à tant de sollicitude, et s'il a fallu subir la division de la question, si regrettable qu'elle soit, M. Molinos n'est nullement de l'avis de M. Germain, et il considère comme très-heureux qu'on ait commencé par l'exécution du port. En effet, tant que le Rhône n'était pas en communication commerciale possible avec la mer, toute tentative de perfectionnement de la batellerie du Rhône était condamnée d'avance. Au contraire, il n'est nullement impossible d'utiliser le Rhône tel qu'il est, en apportant d'importantes modifications au matériel d'exploitation. Beaucoup d'ingénieurs s'occupent aujourd'hui de cette question, et il n'est pas douteux qu'on ne parvienne bientôt à un résultat satisfaisant. C'est l'exécution du port Saint-Louis qui aura permis de l'obtenir.

M. Germain. L'entrée deviendrait plus facile si l'ouverture actuelle du Rhône était fermée. Les travaux sont à l'étude, mais il existe encore une certaine hésitation ; il est difficile d'affirmer le succès certain de l'opération, et, d'un autre côté, beaucoup de personnes regrettent la perte d'une partie de l'argent dépensé jusqu'à ce jour. Cependant, 2 200 mètres de digues nouvelles seraient seulement nécessaires.

M. de Dion, revenant à la question de salubrité, espère que la ville de Saint-Louis deviendra salubre, lorsque 30 hectares auront été macadamisés.

Il peut citer un exemple remarquable et saisissant, celui de la Pointe-à-Pître, située au milieu d'un terrain malsain, nettement défini.

La ville est très-saine; au delà d'un canal, il n'y a plus que des fiévreux, et dans les palétuviers, un peu plus loin, le climat est mortel. Quels que soient les vents, les fiévres ne font pas irruption sur la ville.

M. Germain explique qu'à la Pointe-à-Pitre la ville n'est pas en général sous le vent de la partie malsaine. Il en est autrement à Saint-Louis, où les vents malsains, ceux d'Ouest, ont passé sur la Camargue.

M. Molinos, à l'appui de l'opinion émise par M. de Dion, peut citer divers exemples tirés de sa propre expérience. Ainsi, lors de la construction du chemin de fer du Médoc, il a eu à traverser un marais, le marais de Beychevillle, tellement malsain qu'il a fallu renoncer à y établir une maison de garde, nécessaire cependant. Or, à deux kilomètres à peine du marais, se rencontrent un certain nombre de châteaux très-célèbres parmi les grands crus du Médoc. Ce sont des habitations de plaisance très-luxueuses et parfaitement salubres. Ce fait, entre beaucoup d'autres, vient à l'appui de cette croyance que les miasmes ne voyagent pas loin sans être transformés sans doute au contact de l'air, et que par suite un assainissement local doit produire un très-grand effet.

M. Dornès demande à répondre par quelques mots aux observations que vient de présenter M. Germain.

Dans la Note qu'il a communiquée à la Société, dans sa séance du 4 décembre dernier, M. Dornès n'a jamais attribué à M. Germain la pensée d'abandonner les travaux du canal Saint-Louis, pour reprendre l'idée d'un élargissement du canal d'Arles à Bouc, avec prolongation de ce canal jusqu'à Marseille; il a seulement constaté que c'est à la suite du rapport de mission de cet ingénieur, que cette idée avait été de nouveau mise en avant.

Quant aux conclusions du rapport de M. Germain, elles ne concordent pas précisément avec les faits qu'il expose dans le courant même de ce rapport et qu'il vient de rappeler.

En effet, d'une part, il parait croire à l'avenir possible du canal Saint-Louis, et, d'autre part, il cherche à démontrer que déjà, aujourd'hui, l'accès très-difficile de ce canal et l'insalubrité de la Camargue s'opposent à tout développement commercial de ce nouveau port, sans cependant indiquer de remède, puisque la solution qu'il propose ne saurait modifier sensiblement la situation actuelle, si déplorable déjà, selon lui, mais aurait seulement pour résultat d'empêcher cette situation de s'aggraver encore.

Les assertions de M. Germain ne tendraient, du reste, rien moins qu'à prouver une légèreté bien impardonnable de la part du service maritime des Ponts et Chaussées, qui aurait ainsi entrepris et terminé à grands frais ce travail gigantesque, sans s'être aucunement préoccupé à l'avance des dangers d'ensablement de l'entrée du canal et des difficultés d'accès dans l'anse de Foz.

M. Dornès croit qu'il y a peut-être de l'exagération dans les faits signalés par M. Germain.

Il a parfaitement étudié son rapport, c'est pourquoi il a fait une distinction très-nette entre les apports dans l'anse de Foz, aux abords du canal Saint-Louis, que M. Germain attribue au retroussement des sables de la barre par les vents de Sud-Est, et l'avancement même de cette barre dans une direction telle, que le rétrécissement de l'entrée du golfe de Foz en est la conséquence forcée.

Pour ce dernier danger, qui, pour ne pas être éminent, n'en est pas moins réel, M. Dornès a fort bien reconnu la justesse des appréhensions de M. Germain, ainsi que l'efficacité de la solution qu'il propose. Mais au sujet du refoulement des sables dans l'anse de Foz, dans le voisinage du canal Saint-Louis, dont l'effet serait de diminuer de plus en plus la profondeur de la baie et d'ensabler avant peu l'entrée du canal, sans que la réouverture des graus de la rive droite du Rhône, indiquée comme remède par M. Germain, puisse empêcher ce refoulement d'une façon efficace, M. Dornès persiste à prétendre que ce n'est pas à un retroussement des sables de la barre qu'il faut attribuer les changements de profondeurs de cette partie de l'anse de Foz. Du reste, M. Germain n'a pas répondu aux objections que contenait, à ce sujet, la note de M. Dornès; en effet, en parlant de l'exhaussement des fonds dans l'anse de Foz, aux abords du canal Saint-Louis, cet ingénieur vient de dire qu'on ne saurait attribuer cet exhaussement au déversement des eaux du Rhône par les graus qui débouchent dans l'anse de Foz, au Nord du canal Saint-Louis, en se basant sur ce que ces graus sont tout à fait insignifiants comme débouchés, et que, de 1841 à 1872, on ne constate aucune modification de la côte, dans toute cette partie du golfe de Foz, ce qui exclut complétement l'idée d'apports provenant de ces graus. Dans la note que M. Dornès a communiquée à la Société, il a parlé des graus de la rive gauche du Rhône, lesquels n'ont *aucun rapport* avec ceux que vient de citer M. Germain : car ces derniers ne sont, en réalité, que les déversoirs de quelques étangs, et n'ont même jamais donné passage aux eaux du Rhône, si ce n'est parfois, en temps de crues exceptionnelles. M. Germain a donc parfaitement raison de ne leur attribuer aucune influence sur le régime du fond de l'anse de Foz. Mais il en est tout autrement des graus de la rive gauche du Rhône, qui sont, du reste, situés au Sud du canal Saint-Louis et non pas au Nord. Avant 1852, ces graus se déversaient dans l'anse de Foz, entre les cabanes du Levant et le they de l'An-

nibal, et présentaient dans leur ensemble, ainsi que cela a été dit, une largeur de 1700 mètres au niveau de l'étiage du Rhône, c'est-à-dire pendant cinq à six mois de l'année ; M. Dornès ne peut donc que maintenir ce qu'il a avancé : c'est que c'est sans aucun doute au déversement des eaux du Rhône par ces graus, de 1841 à 1852 (époque à laquelle ils furent fermés), qu'il faut attribuer l'exhaussement des fonds dans la partie Ouest du golfe de Foz, phénomène qui a cessé depuis.

Du reste cette opinion est surtout basée sur l'examen des cartes que le service maritime des Ponts et Chaussées fait dresser tous les ans, depuis 1865 ; or ces cartes n'ont jamais donné, d'une année à l'autre, aucune différence sensible dans les profondeurs de l'anse de Foz, aux abords du canal Saint-Louis ; ce qui tend à prouver, évidemment, que désormais il ne se produit plus aucun changement dans les fonds de cette baie.

M. Germain fait observer que, vu les moyens restreints dont peut disposer le service maritime des Ponts et Chaussées, il ne faut attribuer qu'une importance secondaire aux cartes relevées par les soins de ses ingénieurs, qui, du reste, avaient été les premiers à réclamer le concours d'une mission hydrographique.

M. Dornès répond que dans le cas présent la précision de ces cartes ne peut être contestée, pour toutes les parties de l'anse de Foz dont il est question ici, car les lignes de fond et les profondeurs indiquées sur ces mêmes cartes, comme invariables depuis 1865, diffèrent si peu de celles relevées par M. Germain en 1872, que l'on ne saurait douter de leur exactitude.

Quant aux difficultés d'accès du canal Saint-Louis, les marins qui ont donné à ce sujet leur avis à M. Dornès sont plusieurs capitaines au long cours, ainsi que des officiers de la marine de l'État. La question, du reste, est tellement simple que quelques mots suffiront pour prouver que les difficultés signalées par M. Germain sont peut-être exagérées ; en effet, M. Germain s'est basé, en les exposant, sur les deux raisons suivantes : 1° Qu'un bâtiment venant de l'Est, et doublant le cap Couronne à plus de 3/4 de mille de distance, ne peut voir le feu de Saint-Louis, qu'il est obligé de venir chercher avant de voir le feu de Bouc passer du blanc au rouge ; 2° qu'un bâtiment venant de l'Ouest ne peut voir le feu de Saint-Louis que quand il le relève par 58° Nord ; il en a conclu que, par les vents de Nord-Nord-Ouest qui soufflent en moyenne 140 jours par an dans ces régions, le louvoyage était à peu près impossible la nuit et bien difficile le jour, et que, par suite, l'accès du canal Saint-Louis se trouvait être presque exclusivement réservé aux bâtiments à vapeur. M. Dornès fait observer que cette conclusion est loin d'être fondée.

En effet, quand on double le cap Couronne en venant de l'Est, et qu'on est obligé de louvoyer pour atteindre le port de Bouc ou celui de Saint-Louis, il importe peu de voir tout d'abord le feu de ce dernier port, mais il faut par prudence passer à 3/4 de mille du cap Couronne, afin d'éviter le plateau dit des Ragues d'Arnette, et ne serrer le vent qu'après avoir coupé la ligne passant par les deux feux de Bouc, laquelle laisse en dehors tous les écueils de la côte Est du golfe de Foz. Cette ligne une fois franchie, la seule condition importante est de se tenir dans le secteur blanc formé par cette ligne et par celle qui, en séparant le feu blanc du feu rouge de la tour de Bouc, permet d'éviter la barre du Rhône. Cela ne présente aucune difficulté, car la première bordée se trouve avoir plus de 10 kilomètres, la seconde en a environ 8, la troisième 6, et la quatrième, la plus courte, n'en a pas moins

de 5. Il faut remarquer qu'on n'a en réalité besoin du feu de Saint-Louis que lorsque l'on se trouve fort avancé dans le golfe, et que le secteur blanc du feu de Bouc, en se rétrécissant, ne permettrait de faire que de courtes bordées; mais alors on s'est assez rapproché de ce feu, et il ne doit plus servir qu'à déterminer, avec l'autre feu de Bouc, la ligne qui fait éviter les dangers de la côte orientale du golfe.

Il n'est pas non plus nécessaire d'être guidé par le feu de Saint-Louis quand on vient de l'Ouest. Il suffit, en effet, pour ne pas courir le risque de s'échouer sur les theys formés par la barre du Rhône, de tenir le phare de la Couronne droit à l'Est 1/2 Nord, jusqu'au moment où l'on entre dans le secteur blanc du feu de Bouc; puis de serrer le vent et de louvoyer dans ce secteur jusqu'à ce qu'on puisse voir passer ce feu du blanc au rouge, sans toutefois perdre de vue le feu du canal Saint-Louis.

M. Germain fait remarquer qu'un grand bâtiment ne vire pas ainsi, comme on le veut, avec vent debout et que, de plus, le courant du Rhône qui se fait sentir lorsque l'on approche de la limite Ouest du secteur blanc du feu de Bouc, au droit de l'embouchure du Rhône, doit faire perdre une partie du chemin gagné à chaque bordée.

M. Dornès répond que, si le vent est assez violent pour gêner le virage dans cette partie de la baie où les vents de Nord-Nord-Ouest ne donnent lieu qu'à de très-petites lames, il est peu probable qu'aucun navire, même ceux à vapeur, cherche à gagner ainsi avec vent debout soit le port de Bouc, soit le canal Saint-Louis. Quant au courant du Rhône, il a déjà été brisé en grande partie en passant sur la barre, et n'existe plus qu'à la surface; il ne saurait donc exercer une grande influence sur des navires de quelque importance. En tous cas, en admettant que le vent et le courant fissent perdre une petite partie du chemin gagné à chaque bordée, l'on ne saurait dire que le louvoyage est impossible.

Au reste, comme on vient de le voir, il est aussi aisé d'atteindre, par les vents de Nord-Nord-Ouest, l'entrée du canal Saint-Louis, que de parvenir au port de Bouc, dont l'accès n'a cependant jamais passé pour difficile, et qui est encore aujourd'hui fréquenté par des navires de commerce de tous les pays; et si M. Germain n'a pas vu plus de navires au port Saint-Louis, cela tient à ce qu'aujourd'hui encore il n'y a aucun moyen de transport ni de débarquement des marchandises que des navires pourraient y amener, et non à des difficultés d'accès.

Néanmoins, comme par suite de la direction actuelle du grand bras du Rhône les apports de ce fleuve tendent à rétrécir l'entrée du golfe de Foz, la solution proposée par M. Germain pour remédier à ce danger, et qui consiste à rouvrir un ou plusieurs des graus de la rive droite, paraît être la meilleure à tous les points de vue, ainsi que M. Dornès l'a du reste dit déjà.

Au sujet de l'insalubrité des environs du canal Saint-Louis, M. Germain vient de dire qu'il avait habité Madagascar pendant une année, sans jamais avoir eu à souffrir du climat de cette île, qui passe cependant pour une des localités les plus malsaines du monde, et que quatre mois passés à Saint-Louis avaient suffi pour lui donner des fièvres dont il avait eu beaucoup de mal à se débarrasser, malgré les *précautions sanitaires* qu'il avait prises lui-même et fait prendre à l'équipage de la canonnière *la Diligente*, à bord de laquelle se trouvait la mission.

M. Dornès fait remarquer que cette raison ne saurait être concluante, car il pourra y opposer que M. Guérard, l'ingénieur des Ponts et Chaussées qui a dirigé sur place tous les travaux du canal Saint-Louis, et y a habité par suite pendant cinq

ans, n'a jamais été atteint que d'un seul accès de fièvre, rapidement coupé, du reste, et qu'il reconnaît fort bien avoir été la suite d'une imprudence.

M. Germain dit que si cet ingénieur a pu conserver sa santé, c'est en prenant les plus grandes précautions, et en ne sortant jamais de chez lui après le coucher du soleil.

M. Dornès répond que M. Guérard ne voulait pas s'exposer à commettre les mêmes imprudences que l'équipage de la canonnière et les membres de la mission, que M. Dornès a vus maintes et maintes fois prendre *le frais* sur le pont, après le coucher du soleil, malgré les moustiques, même jusqu'à une heure avancée de la nuit, ce qui, dans ces régions, est considéré comme une des choses les plus malsaines.

Au sujet des relevés de l'état civil, dont M. Dornès a parlé dans sa note, M. Germain a dit qu'il n'était pas étonnant que les registres de l'état civil de Saint-Louis ne constatassent pas une bien grande mortalité, par la raison que bien peu de personnes succombent à Saint-Louis même, tous les malades atteints gravement allant en général se faire soigner aux hospices d'Arles, où se fait alors la constatation régulière de leur décès en cas de mort.

M. Dornès répond que la localité de la tour Saint-Louis n'est pas une commune distincte de celle d'Arles, et que par suite les relevés des registres de l'état civil dont il a parlé comprennent les décès des habitants de Saint-Louis, qu'ils soient morts à Saint-Louis, à Arles ou sur un point quelconque du territoire de la commune, et que par suite ils ne sauraient être contestés.

M. Dornès termine en disant qu'il ne saurait accepter les conclusions présentées par M. Germain, qui voit toutes sortes de difficultés au développement commercial du canal et du port Saint-Louis, tandis que ce port paraît être, au contraire, appelé par sa position à un grand avenir, dès qu'on aura ouvert un débouché facile aux marchandises, soit par l'achèvement de la canalisation du Rhône, soit par l'établissement de voies ferrées.

M. Germain ajoute qu'un pays où l'on ne peut échapper à la fièvre qu'à l'aide de précautions continuelles et minutieuses semble peu propre à l'établissement d'un grand centre industriel et commercial, et que, quel que soit l'état présent, le meilleur moyen de préparer l'avenir est de chercher à améliorer les conditions actuelles, au lieu de déclarer que tout est pour le mieux et de nier l'évidence des faits.

M. le Président remercie M. Germain de sa très-intéressante communication, et espère avec lui, que les travaux de recherche aboutiront à une amélioration dans le sens indiqué de la réouverture de l'ancien cours du Rhône.

MM. Engerth et Raymond ont été reçus membres honoraires.

Séance du 5 Mars 1875.

Présidence de M. Lavalley.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 février est adopté.

M. le Président donne lecture de la lettre suivante, adressée par M. Engerth :

« Monsieur,

« J'ai reçu la lettre que vous m'avez fait l'honneur de m'écrire le 20 février dernier et suis extrêmement sensible aux expressions courtoises que vous voulez bien m'adresser.

« Je vous prie d'être mon interprète auprès de Monsieur le Président de la Société des Ingénieurs civils pour lui témoigner ma reconnaissance de l'honneur qu'elle m'a fait en me nommant son membre honoraire. Veuillez en même temps l'assurer que je saisirai avec empressement toutes les occasions qui pourront se présenter pour lui prouver par mon concours, en tout ce qui dépendra de moi, tout le prix que j'attache à la distinction flatteuse dont elle m'a fait l'objet.

« J'espère pouvoir lui exprimer de vive voix ces assurances si, comme j'aime à le croire, rien ne s'oppose au projet que j'ai formé de me rendre à Paris dans quelques semaines, et je vous prie d'agréer l'assurance de la considération distinguée avec laquelle j'ai l'honneur d'être, etc. »

M. de Bruignac expose sommairement le résumé des *Recherches sur la navigation aérienne* qu'il a présentées à la Société.

Le but poursuivi était de faire un choix, s'il était possible, et, pour cela, d'établir une comparaison méthodique entre les principaux systèmes d'aéronautique. Ils sont de trois sortes. D'un côté les appareils *plus légers que l'air*, représentés par les aérostats dirigeables; d'un autre côté, les appareils *plus lourds que l'air*. Ces derniers se partagent en deux catégories différentes : les *aéroplanes*, consistant essentiellement en un plan oblique mû par un propulseur quelconque, hélice ou autre; et les appareils qui s'appliquent à imiter le plus exactement possible le vol des oiseaux.

Pour exposer clairement cette étude, il est nécessaire d'abandonner l'ordre logique des recherches, qui nécessite des interversions, et d'adopter le suivant :

1° Théorie de la translation d'un plan dans l'air;
2° Examen comparatif des principaux systèmes;
3° Étude du vol.

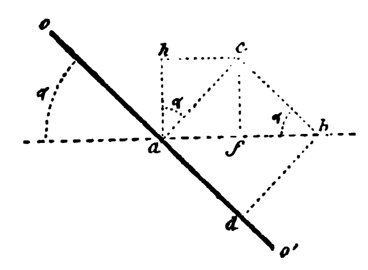
I. ***Translation d'un plan dans l'air.*** — Tout ce qui suit se rapporte à une translation horizontale du plan et à une direction horizontale du vent. Les autres cas s'y ramèneraient aisément.

M. de Bruignac néglige les coefficients d'expérience, qu'il faudrait supposer presque arbitrairement ; il néglige aussi le frottement de l'air sur le plan, pour lequel les données font défaut. D'après l'ensemble de ses recherches, il pense que cette incorrection, à ses yeux inévitable, n'est pas de nature à renverser les prévisions théoriques, c'est-à-dire à les empêcher d'être pratiquement utiles.

Si un plan plus lourd que l'air, horizontal et demeurant tel, se déplace dans l'air calme horizontalement à une vitesse quelconque, il tombera nécessairement, car rien, dans ces conditions, ne peut annuler l'effet de la pesanteur. Par conséquent, pour qu'un plan plus lourd que l'air s'y soutienne, il doit être oblique et animé d'une certaine vitesse horizontale.

Dans tout ce qui suit, il est admis que les conditions aéronautiques du plan dépendent seulement de sa vitesse *relative* à celle de l'air, quelles que soient les vitesses absolues de l'air et du plan.

Il est également admis que, pour connaître la résistance de l'air à la translation d'un plan oblique à la direction de cette translation, il suffit de connaître cette résistance pour la translation, à même vitesse, d'un plan normal à son mouvement ; et d'affecter cette résistance, dite normale, d'une certain *coefficient*, qu'il s'agit de calculer.



Soient : oo' un plan oblique rectangulaire, ayant une vitesse horizontale v relative au vent ; p son poids ; c son plus petit côté ; $S = nc^2$ sa surface ; α son angle d'obliquité sur l'horizontale, autrement dit l'angle d'incidence du vent sur le plan ; P la pression du vent, à la vitesse v, sur toute la surface normale à sa direction interceptée par le plan, autrement dit sur la projection verticale du plan normalement au vent ; p^n cette même pression du vent par mètre carré de surface verticale ; T le travail de translation du plan à la vitesse v. p_n est une donnée expérimentale.

Représentons P par ab agissant en un seul point. Lorsque $ab = P$ rencontre le plan oblique, elle se décompose en ac normale au plan et ad parallèle (toute autre décomposition s'y ramènerait). Cette composante parallèle ad est de nul effet au point de vue de la résistance à la translation du plan, et elle doit disparaître de son calcul. La seule force qui subsiste pratiquement est la composante ac normale au plan. Pour étudier l'équilibre vertical, et la résistance de translation horizontale, il faut envisager les deux composantes de ac, l'une ah verticale, l'autre af horizontale. Dans le cas d'équilibre vertical, c'est-à-dire celui où la pression du vent soutient le plan sans l'élever, on a $ah = p$.

D'après les conditions précédentes, la figure, et la définition générale du travail, on a :

(1) $$P = p_u . S. \sin \alpha.$$

(2) $$p = ah = P. \sin \alpha . \cos \alpha = p_u . S. \sin^2 \alpha . \cos \alpha.$$
$$af = P. \sin^2 \alpha = p_u . S. \sin^3 \alpha$$

(3) $$T = p_u . S. \sin^3 \alpha . v.$$

En outre, l'expérience donne sensiblement, pour les pressions p_u et p_u' correspondant aux vitesses v et v',

(4) $$\frac{p_u}{p_u'} = \frac{v^2}{v'^2}.$$

De l'équation (3) résulte que : *le travail de translation dans l'air est proportionnel au cube du sinus de l'angle d'incidence du vent.*

Ce qui vient d'être dit d'un plan s'applique à un aéroplane de poids p, pour lequel on ne considérerait que la résistance de translation de son plan *aviateur*, de surface $S = n c^2$.

Si on fait passer un certain aéroplane, ayant pour données p, S, v, à une vitesse $v' > v$, correspondant à $p_u' > p_u$, il faudra, pour maintenir l'équilibre vertical signifié par l'équation (2), avoir $\alpha' < \alpha$, c'est-à-dire diminuer l'angle de l'aéroplane. Dans ce cas, au moyen des équations (2), (3) et (4), on obtiendra :

(5) $$\frac{T'}{T} = \frac{\cos \alpha . \sqrt{\cos \alpha}}{\cos \alpha' . \sqrt{\cos \alpha'}}.$$

C'est-à-dire que : *moyennant que l'angle d'un aéroplane soit maintenu au minimum nécessaire pour porter son poids, le travail de translation diminue à mesure que la vitesse augmente.*

Si, maintenant, on suppose deux aéroplanes de même poids p, marchant à la même vitesse v, mais ayant des surfaces $S' > S$, il faudra, en vertu de l'équation (2), que l'on ait $\alpha' < \alpha$, c'est-à-dire que l'aéroplane S' marche à un angle *plus fermé* que l'autre. Dans ce cas, d'après les équations (2), (3) et (4), on aura :

(6) $$\frac{T'}{T} = \frac{\sin \alpha' . \cos \alpha}{\sin \alpha . \cos \alpha'}.$$

Il résulte que, à l'égard du travail de translation, *il y a avantage à faire les aéroplanes avec un plan aviateur aussi grand, et un angle aviateur aussi petit que possible.*

Les aérostats ne présentent pas les mêmes ressources, car leur travail de translation croît sensiblement comme le cube de leur vitesse.

Les équations précédentes ne s'appliquent qu'à un plan. Pour calculer les conditions aéronautiques d'une surface quelconque, il suffit de savoir calculer pour elle :

$$\int ds . \sin^3 \alpha,$$

car. dans ce cas, l'équation (8) devient :

$$T = v . p_n . \int ds . \sin^3 \alpha.$$

Calculant cette intégrale pour une demi-sphère de rayon R, on a :

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha} ds . \sin^3 \alpha = \frac{1}{2} \pi R^2,$$

d'où il résulte que *la résistance de translation d'une sphère est moitié de celle de son grand cercle.*

Pour une calotte en demi-fuseau *équilatéral,* c'est-à-dire dont le rayon de courbure est égal au diamètre 2R, on trouve ;

$$\int ds . \sin^3 \alpha = \frac{7}{24} \pi . R^2,$$

c'est-à-dire que, *la résistance à la translation d'un demi-fuseau équilatéral égale les 7/24 de celle de son grand cercle.*

Il est évident qu'un calcul semblable servirait à déterminer la résistance du milieu à la translation des proues et des projectiles.

II. *Examen comparatif des principaux systèmes.* — Pour comparer exactement, il faut comparer les travaux de translation d'appareils de même poids marchant à la même vitesse. Nous supposerons des appareils d'un poids total, utile et mort, de 1000 kilogrammes, et une vitesse de 10 mètres, celle d'un vent ordinaire.

Des expériences relatives aux voiles donnent pour valeur de p_n :

Pour une vitesse du vent de	10 mètres par 1″,	la pression normale par m. q.	= 13 kil.
—	15	—	= 30
—	20	—	= 54
—	30	—	= 122
—	45	—	= 277

1° *Aérostats.* — En supposant l'hydrogène assez pur pour porter 1 kilogramme par mètre cube, faisant varier les dimensions, diamètre et longueur de l'aérostat, et prenant sa résistance seule sans compter celle de la nacelle, on obtient les travaux de translation suivants :

DIAMÈTRE.	LONGUEUR.	TRAVAIL.	OBSERVATIONS.
m.	m.	chevaux.	
12,40	12,40	104	Aérostat sphérique.
7,81	23,43	42	Aérostat oblong, calotte hémisphérique.
4,83	28,98	31	Deux aérostats oblongs, calottes hémisphériques.
4,03	40,30	22	Id. Id.
5,09	50,90	18	Aérostat oblong, calotte hémisphérique.
5,09	52,83	10	Aérostat à calotte en demi-fuseau équilatéral.

Ces exemples paraissent approcher de la limite pratique, en tout cas ils suffisent pour l'indiquer.

2° *Aéroplane.* — On suppose toujours des appareils de 1000 kilogrammes se déplaçant horizontalement, en négligeant toute autre résistance que celle du plan aviateur.

Il n'y a pas à considérer ici de variations de forme, mais celles de l'angle et de la vitesse, en application des équations (5) et (6).

Si $\alpha = 54° \, 40'$ (angle qui donne le minimum de surface), le travail, à 10 mètres de vitesse, est de 187 chevaux.

Cet aéroplane a une surface aviatrice d'environ 200 mètres carrés. Si on le faisait marcher sous l'angle 14°, il faudrait, pour le soutenir, obtenir une valeur de $p_a' = 88$ kilogrammes, et, par conséquent, une vitesse d'environ 26 mètres. Mais alors le travail ne serait que de 87 chevaux.

Mais si l'on avait construit l'appareil avec une surface assez grande pour marcher sous l'angle de 14° à la vitesse de 10 mètres, son travail à cette vitesse n'aurait été que de 33 chevaux.

Malgré que 14° ne soit pas un minimum, ni 10 mètres un maximum pratique, ce qui précède indique la limite possible.

Bien qu'il soit difficile de préciser si les calculs précédents établissent une comparaison exacte entre les aérostats et les aéroplanes, l'avantage semble rester aux premiers.

Mais les uns et les autres, dans les meilleures conditions, causent encore un travail trop grand pour sembler réalisables à l'aide des moteurs connus les plus légers que l'on puisse concevoir.

Il est alors naturel de chercher s'il y aurait diminution de travail par la combinaison des deux systèmes. C'est ce qui va être examiné dans l'hypothèse d'un « aéroplane mixte. »

3° *Aéroplane mixte.* — Il consiste en un aéroplane surmonté d'un aérostat prismatique tel que sa projection verticale dans le sens de la marche se confonde avec celle du plan, de sorte que l'aérostat n'offre pas de résistance propre à la translation, et soit compris entre trois plans verticaux passant par les arêtes de l'aéroplane. Il ne s'agit pas, bien entendu, d'un *prisme* rigoureux, mais d'une forme pratiquement voisine.

En conservant toutes les notations précédentes, et appelant d le poids soulevé par mètre cube de gaz, l'équilibre vertical de l'appareil résulte évidemment de l'équation :

$$(8) \qquad p = p_a . nc^2 . \sin^2 \alpha . \cos \alpha + d . \frac{n^2}{2} . c^3 \sin \alpha . \cos \alpha$$

revenant à $k = bx^2 + ax^3$, et donnant pour valeur du côté cherché c.

$$c = \sqrt[3]{\frac{k}{2a} - \frac{b^3}{27a^3} + \sqrt{\frac{k^2}{4a^2} - \frac{kb^3}{27a^4}}} + \sqrt[3]{\frac{k}{2a} - \frac{b^3}{27a^3} - \sqrt{\frac{k^2}{4a^2} - \frac{kb^3}{27a^4}}} - \frac{b}{3a},$$

Si $p = 1000^k$ comme précédemment, $v = 10^m$, $p_a = 13^k$, $d = 1^k$, on obtient les résultats suivants, en calculant c dans les diverses hypothèses indiquées :

α	n	c	nc	T	OBSERVATIONS.
		m.	m.	chevaux.	
54° 40′	2	7,62	15,24	109	»
	4	5,06	20,24	96	»
	4	4,35	17,40	71	L'aérostat est supposé doublé.
18° 20′	4	5,62	22.48	7	»
14°	6	4,74	28,44	3	»

Il faut ajouter que la vitesse supposée de 10 mètres n'est pas un maximum, ni 14° un minimum, en sorte que le travail pourrait encore être réduit.

Le mémoire contient ensuite des considérations d'une certaine étendue sur la marche des aéroplanes, et sur quelques précautions de construction pour alléger l'appareil et assurer la condition essentielle de sa stabilité. M. de Bruignac indique de placer les deux aéroplanes mixtes des deux côtés de la nacelle, comme les tambours d'un bateau à vapeur, et d'équilibrer l'appareil au moyen d'un poids placé assez bas au-dessous de la nacelle et relié rigidement à elle.

La conclusion de ce chapitre, qui est aussi celle de toute l'étude, est : 1° *Que la solution de l'aéronautique paraît être dans la voie des aéroplanes mixtes, qui, toutes choses égales d'ailleurs, causent le moindre travail de translation;* 2° que, *avec les aéroplanes mixtes, l'aéronautique semble possible dès maintenant, avec les moteurs connus, à la condition de les construire en sacrifiant l'économie à la légèreté.* L'étude de construction seule peut préciser le point possible à atteindre.

III. *Étude du vol.* — Il reste à examiner dans quelle mesure il serait bon d'imiter l'appareil moteur des oiseaux.

En rapportant plusieurs observations, et raisonnant sur elles, M. de Bruignac parvient à un certain nombre de conclusions, dont voici quelques-unes :

La théorie précédente suffit pour expliquer, dans leur partie essentielle, les phénomènes du vol.

Les oiseaux se soutiennent par l'action aviatrice de l'air, contre la surface oblique de leur corps et de leurs ailes, résultant de leur vitesse.

Le battement de l'aile ne soutient pas, par lui-même, l'oiseau ; il est propulseur, et ne fait que donner de la vitesse.

L'aile bat normalement à la direction qu'elle imprime. Son action propulsive est celle d'une *godille*, c'est-à-dire, en substance, d'un plan présentant alternativement ses deux faces à la trajectoire.

La trajectoire du vol est droite ou courbe, mais non *festonnée*, comme cela aurait lieu si le battement de l'aile causait un relèvement et un abaissement. Cela tient à ce que la projection verticale de l'aile dans le sens de l'aviation est beaucoup moindre à la descente qu'à la montée; l'action aviatrice variable qui en résulte se compense avec la pression directe, tantôt positive, tantôt négative, qu'exerce le battement sur l'air, de manière que l'oiseau soit toujours également soutenu.

Le vol planant n'a jamais lieu sans vitesse *relative* à l'air ambiant.

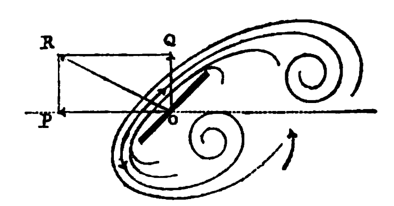
Le vol ne peut atteindre les résultats que l'on observe que par une grande perfection de ses organes et de l'action musculaire instinctive; c'est sa condition essentielle.

M. de Bruignac pense que les appareils industriels ne peuvent espérer, non-seulement d'atteindre cette perfection, mais même d'en approcher; c'est pourquoi il conclut qu'à son avis l'aéronautique ferait fausse route en s'appliquant à imiter de près les oiseaux.

M. Armengaud jeune fils demande que la discussion sur la communication de M. de Bruignac soit renvoyée à une des prochaines séances; la question est de nature à exiger une étude préalable et approfondie; d'ailleurs divers membres qui pourraient prendre une part utile à la discussion sont absents; enfin, M. Armengaud croit savoir que plusieurs de nos Collègues, qui font partie, de la Société aéronautique se proposent de présenter prochainement à notre Société un travail sur le même sujet, et qu'on pourrait ouvrir à la fois la discussion sur les deux communications.

M. de Bruignac, sans toutefois s'opposer, en principe, à la remise de la discussion qui a été demandée par M. Armengaud, désire qu'on n'attende pas la communication annoncée des membres de la Société aéronautique, communication qui est elle-même subordonnée à des ascensions et expérimentations pratiques, qui pourraient la remettre à une époque très-éloignée. Si ces communications ont la même question pour objet, elles ont un point de départ absolument différent, ce qui rendrait une discussion commune, confuse et difficile à suivre.

M. de Dion désire présenter immédiatement quelques observations sur la communication de M. de Bruignac, avec lequel il n'est pas d'accord sur la décomposition de la pression d'un courant d'air sur un plan incliné. Le courant d'air est infléchi et glisse sur la surface du plan, il se produit une augmentation de pression sur la face antérieure et une diminution de pression sur la face postérieure. Quant au plan, il ne peut éprouver de la part de l'air que deux sortes d'actions : 1° des pressions normales, et 2° des frottements occasionnés par le glissement de l'air sur la surface du plan.



De sorte que la résultante R de l'action de l'air sur le plan est dirigée suivant une ligne intermédiaire entre la normale au plan et la direction du mouvement de translation de l'air ou du plan. Par l'expérience, on a déterminé la valeur de la composante P dans le sens du mouvement, mais pour obtenir la résultante R qui doit entrer dans les calculs, il faut connaître aussi la composante Q perpendiculaire au mouvement.

M. Marey, professeur au Collége de France, a bien voulu communiquer à M. de Dion des expériences qu'il a faites, et qui jettent un jour nouveau sur cette question difficile. Il a fait courir sur un fil, à des vitesses qu'il constatait, un appareil composé de deux ailes planes en papier de $0^m,50$ sur $0^m,10$, auxquelles il imprimait, au moyen d'un ressort en caoutchouc, un mouvement d'abattage limité à un certain nombre de degrés. Un signal électrique donnait la durée de la chute de l'aile.

Quand l'appareil était en repos la chute avait lieu en $\frac{15}{47}$ de seconde.

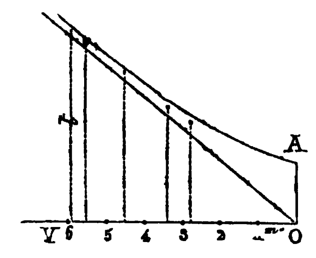
Avec une vitesse de	$2^m,80$	la durée était de	$\frac{25}{47}$
Id.	$3^m,40$	id.	$\frac{29}{47}$
Id.	$4^m,60$	id.	$\frac{36,5}{47}$
Id.	$5^m,60$	id.	$\frac{44}{47}$
Id.	$5^m,90$	id.	$\frac{47}{47}$.

Ainsi la durée de la chute croît avec la lenteur de translation.

M. DE DION a trouvé que la loi suivant laquelle les temps t variaient avec les vitesses de translation u était représentée par une hyperbole

$$t = 0{,}16\sqrt{u^2 + 4},$$

dont l'asymptote $y = 0{,}16\,u$ passait par l'aigine des coordonnées.



L'ordonnée de l'asymptote représenterait l'influence de la translation, et la portion de l'ordonnée comprise entre l'asymptote et l'hyperbole représenterait l'influence de la forme de l'aile.

Quand la vitesse de translation est nulle, la largeur de l'aile détermine la masse d'air mise en mouvement; mais quand la translation se produit, la masse d'air mise en mouvement augmente de toutes les nouvelles tranches d'air que l'aile vient frapper par son mouvement de translation, et cette augmentation est proportionnelle à la vitesse.

On trouve une confirmation de cette explication par l'observation de ce qui se passe avec un canot marchant à la voile : si on va vent arrière, on a une certaine vitesse; si on prend une direction transversale à celle du vent, la vitesse du canot augmente quoique la projection de la voile dans le sens de la marche soit moindre que dans le premier cas. Cela tient à ce que par la marche la voile reçoit l'action de nouvelles tranches d'air.

L'oiseau s'efforce de prendre de la vitesse quand il veut voler, il court s'il est à terre, il se laisse tomber s'il quitte une branche; et il prend sur l'air un point d'appui d'autant plus résistant que sa vitesse est plus grande.

Dans l'ascension de M. Crocé Spinelli, des pigeons lancés à 5,000 mètres de hauteur dans un air raréfié, voyant que leurs efforts étaient vains pour se soutenir, descendirent en décrivant des courbes de 200 à 300 mètres de diamètre, avec une

effrayante vitesse de translation de 40 à 50 mètres et peut-être plus encore. Ces pigeons trouvaient par cette grande vitesse l'appui qui leur était nécessaire.

Dans l'expérience de M. Marey on détermine l'influence de la vitesse de translation sur la composante normale au plan; pour avoir la résultante totale, il faudrait déterminer aussi la composante tangentielle au plan due au frottement.

M. DE BRUIGNAC fait une réserve et présente une explication au sujet du « courant d'air infléchi » dont parle M. de Dion. Il croit qu'une *résultante* ne peut pas être « infléchie » autrement que par une décomposition de forces donnant des composantes obliques à la direction de la résultante. La résultante $a b$ de la pression du vent est horizontale comme lui; à la rencontre du plan, elle se décompose. On peut considérer une direction du vent, oblique entre l'horizontale et le plan à partir de a, mais la force ayant cette direction n'est qu'une *composante*, et il y en a d'autres; cette composante oblique peut se décomposer à son tour en une verticale, s'ajoutant au poids, et une horizontale... Toutes ces décompositions, bien faites, reviennent au même, ce qui doit être. M. de Bruignac pense que sa décomposition est la plus satisfaisante. Ce qui importe, c'est de remarquer que toute composante tenant au frottement doit être affectée d'un certain coefficient dépendant de la nature de la surface; sinon, toutes les surfaces, au même angle et à la même vitesse, donneraient le même frottement, ce qui n'est pas. M. de Bruignac, par hypothèse, a négligé le frottement (ainsi que les remous, etc.), et, par suite, la composante $a d$; on peut discuter cette hypothèse, mais elle n'affecte pas la décomposition en elle-même.

M. de Bruignac ne voit rien à objecter à l'expérience citée de M. Marey ni aux déductions que M. de Dion en tire; il faudrait une étude attentive pour préciser s'il y a désaccord entre ces résultats et les siens. Néanmoins, ces faits semblent se rapporter surtout aux phases du battement de l'aile, dont M. de Bruignac n'a dit que le peu qui se rapportait à son but, à savoir que l'amplitude du battement diminue avec la vitesse et que la forme de l'aile se modifie de façon à soutenir également l'oiseau à chaque instant. L'étude intéressante de M. de Dion semble militer en faveur de la conclusion générale de M. de Bruignac, que les phénomènes du vol sont très-compliqués, en sorte qu'il ne paraît pas désirable de les imiter de près.

M. MALDANT aurait désiré que la discussion sur la communication de M. de Bruignac fût continuée à la *prochaine* séance, car alors chacun aurait pu y apporter le fruit des sérieuses réflexions qu'elle comporte.

Il présentera donc seulement, à la hâte, quelques observations principales: M. de Bruignac a partagé en trois catégories les divers systèmes qui se disputent la solution pratique du grand problème de la navigation aérienne : 1° les aérostats; 2° les aéroplanes; 3° les appareils aviateurs. Mais ce qu'il n'a pas dit, ou du moins ce qu'il n'a pas suffisamment démontré, selon M. Maldant, c'est *duquel* de ces trois systèmes on doit le plus logiquement attendre, ou espérer, la *conquête définitive de l'air* par l'homme?

M. MALDANT attache d'autant plus d'importance à ce que cette question soit posée dans notre Société, à la suite d'un examen d'ensemble des procédés de navigation aérienne, qu'on a déjà souvent proclamé la quasi-impossibilité de la *direction* des ballons, et l'impossibilité encore plus grande de l'*aviation* directe : il serait désirable, selon lui, que les nombreux lecteurs de nos comptes rendus pussent trouver, dans cette discussion, des conclusions *encourageantes* pour ceux qui sont dans la bonne voie; et *décourageantes*, au contraire, pour ceux qui chercheraient à résoudre

l'un de ces problèmes qu'on pourrait assimiler au mouvement perpétuel ou à la quadrature du cercle.

M. Maldant verrait donc avec plaisir que M. de Bruignac pût compléter ses précédentes explications à ce sujet, et dans le sens qu'il indique.

M. de Bruignac rappelle qu'il a donné dans son étude la réponse à la question de M. Maldant, en ce qui concerne les appareils ; à ses yeux, la solution de l'aéronautique se trouve dans la voie de ce qu'il a nommé *aéroplanes mixtes*, c'est-à-dire aéroplane combiné à un aérostat, parce que ce sont les appareils qui, toutes choses égales d'ailleurs, causent le moindre travail résistant. Quant au vol de l'homme lui-même, M. de Bruignac n'en a pas parlé en effet, mais il incline à croire la question résolue implicitement par l'ensemble de son étude ; il doute que l'homme puisse voler seulement à l'aide d'ailes ou semblables appareils, et sans l'appoint d'un moteur spécial.

M. Maldant désire insister sur les observations qu'il a déjà faites, et demande à les préciser encore davantage. La voie de la *direction* des ballons, dans laquelle, aujourd'hui, nous voyons le plus grand nombre d'ingénieurs-aéronautes chercher la solution du problème de la conquête de l'air, est-elle la voie *la meilleure*, la plus rationnelle ? Dans l'état actuel de nos connaissances, M. Maldant ne le pense pas. La force ascensionnelle des ballons est très-limitée, leurs déperditions de gaz ne leur permettent pas un séjour prolongé dans l'atmosphère, enfin, la puissance directrice qu'ils peuvent enlever est un *infiniment petit* par rapport aux résistances auxquelles se prêtent leurs énormes dimensions.

La voie de l'*aviation* directe par les machines, la voie de l'aviation directe, même par l'homme, l'*homme-volant*, en un mot, est-elle une *impossibilité* ? et, si elle n'est pas impossible, peut-on espérer lui devoir un jour la solution du grand problème de la navigation aérienne ?

M. le Président est d'avis que les considérations théoriques doivent guider et éclairer les recherches pratiques, sous peine de voir ces dernières s'égarer. Il faut, avant d'étudier des questions secondaires, telles que celles de la forme à donner aux ailes, s'assurer que l'homme peut réellement voler. M. le Président croit qu'on peut peut-être, *à priori*, conclure à l'impossibilité. En effet, lorsqu'un homme fait l'ascension d'un escalier, il arrive très-rapidement à faire absorber entièrement le travail moteur dont il est susceptible, par le travail résistant, et cependant il a un point d'appui fixe, les marches de l'escalier ; il n'y a pas de travail perdu en recul, comme lorsqu'on prend un point d'appui sur un fluide comme l'eau ou les gaz. On doit donc admettre que l'homme se fatiguera encore bien plus vite en volant qu'en montant un escalier.

M. Maldant comprend combien sa question est délicate, et il sait combien déjà elle a été controversée ; pourtant il n'hésite pas à déclarer que sa conviction intime est que la conquête réelle de l'air sera due à l'*aviation directe par les machines*. Il ajoute même que, dans sa pensée, il n'existe *aucune impossibilité absolue* à l'aviation directe par l'homme.

Que faut-il pour qu'un homme puisse s'élever dans les airs ? Il faut seulement (théoriquement) qu'il ait, en lui, la force nécessaire pour soulever son propre poids : or, c'est ce que fait constamment l'homme qui marche, qui saute, qui monte un escalier, une échelle, etc. Remplacez le point d'appui fixe par le point d'appui *dans l'air*, en en combinant habilement le système, la surface et la mobilité, et l'homme pourra s'élever directement dans les airs.

Il est bien certain, dit M. Maldant, que je n'entends parler ici que d'une *possibilité*, et non des *facilités* que l'homme pourrait trouver dans l'aviation directe, encore moins de son assimilation complète à l'oiseau. Il est évident que l'oiseau a, sur l'homme, une grande supériorité d'appareil respiratoire, et une grande supériorité de puissance aviatrice ; et que ses désavantages propres, surtout dans l'*ascension*, feraient toujours de l'homme un oiseau très-lourd et très-inférieur. Cependant, il faut aussi remarquer que cette infériorité relative pourrait disparaître de plus en plus à mesure que l'homme, supporté par son appareil aviateur, se rapprocherait davantage de l'oiseau qui *plane* en utilisant les forces vives de l'air.

M. Maldant ajoute que, si l'aviation directe *par l'homme* n'est pas une impossibilité radicale, combien, à plus forte raison, doit-on proclamer la *possibilité de l'aviation par les machines*, quand on compare la puissance que peuvent développer celles-ci, proportionnellement à leur poids, à la puissance de l'homme comparée également à sa pesanteur ? Quelle inquiétude, enfin, ne doit-on pas éprouver pour la solution de la navigation par les ballons, quand on songe à ce que deviendrait un *oiseau condamné à voler accouplé à un aérostat* pouvant lui opposer des résistances plus de cent fois supérieures à sa propre force ?

M. Badois rappelle qu'en 1870 M. Pierre Thomas a traité le sujet qui nous occupe devant la Société ; ses conclusions condamnaient l'aviation ; mais il est facile de relever, dans sa communication, bien des points contestables. M. Badois partage l'opinion de M. Maldant.

Il croit qu'il ne faut point décourager les recherches dans cet ordre d'idées ; si l'homme réussit à se soutenir en l'air, le problème de l'aviation est à peu près résolu.

M. Armengaud est d'avis que la discussion se porte depuis un moment sur un côté beaucoup trop étroit de la question. Au lieu de chercher à faire voler l'homme, ne doit-on pas s'attacher à utiliser des forces motrices autres que la force humaine, et à faire de véritables machines volantes ?

M. le Président, avant de lever la séance, en présence de l'heure avancée, rappelle à la Société les remarquables expériences dans lesquelles M. Bert a démontré qu'on peut combattre par l'inhalation d'oxygène les effets de la raréfaction de l'air ; ces expériences ont été faites sous des cloches et répétées dans des ascensions récentes. Mais un fait moins connu et qu'il est bon de répandre, c'est l'inverse du précédent : M. Bert a également démontré qu'on peut combattre les effets bien connus de la condensation de l'oxygène dans l'air comprimé par l'inhalation d'azote.

Il y a là une question d'un grand intérêt pour les ingénieurs qui s'occupent des fondations à l'air comprimé, et qui peuvent se trouver appelés à faire descendre des hommes à des profondeurs plus grandes qu'on ne l'a fait jusqu'ici.

Séance du 19 Mars 1875.

Présidence de M. DE DION, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à neuf heures du soir.

Le procès-verbal de la séance du 5 mars est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Cavé et Valdelièvre.

M. LE PRÉSIDENT fait part de la nomination de M. Baumal, comme chevalier de la Légion d'honneur.

M. BADOIS donne communication de sa note sur la reconstruction de quelques ponts en fonte qui avaient été détruits pendant la guerre.

(Cette communication doit faire suite à celle que M. Bonnin a faite dans la séance du 5 février sur le pont d'Andé, et la compléter.)

Les ponts dont il va être question ont été construits par la maison Georges Martin; ils présentent dans leur ensemble une certaine importance et offrent une assez grande variété de types. D'autre part, les projets anciens ont reçu, pour des causes diverses, des modifications de plusieurs sortes, tant pour la superstructure des ouvrages que pour la reprise de leur fondation. (Voir planche 70.)

L'exposé de ces détails comparatifs peut donc avoir quelque intérêt pour la Société.

Le tableau ci-dessous fera juger de l'importance relative de chaque ouvrage.

DÉSIGNATION ET EMPLACEMENT DES PONTS.	NOMBRE D'ARCHES.	Ouverture.	Flèche.	LARGEUR de la chaussée.	LARGEUR de chaque trottoir.	Largeur totale entre garde-corps.	Nombre d'arcs supportant le tablier.	PRIX de la reconstruction.
		m.	m.	m.	m.	m.		fr.
Pont du Greffier, sur la Sarthe, au Mans (Sarthe).	2	18.00	2.00	5.00	0.90	6.80	2	66.000
Pont de Noyen, sur la Seine (Seine-et-Marne).	2	36.00	3.00	4.50	0.75	6.00	2	84.000
Pont de La Tombe, sur la Seine (Seine-et-Marne).	2	36.00	3.27	4.50	0.75	6.00	2	90.000
Pont d'Isles-les-Villenoy, sur la Marne (Seine-et-Marne)............	2	36.00	3.27	4.50	0.75	6.00	2	100.000
Pont d'Andé, sur la Seine (Eure).........	4	30.00	3.27	5.50	1.25	8.00	3	430.000
Pont de Saint-Ouen, sur la Seine (Seine).......	4	31.15	3.15	7.00	1.50	10.00	4	660.000 (Saint-Ouen et Gennevilliers)
Pont de Gennevilliers, sur la Seine (Seine)....	2	32.50	3.25	7.00	1.50	10.00	4	
Pont de Suresnes, sur la Seine (Seine).......	3 {2 de rive, 1 centrale.	44.00 52.00	3.60 4.60	7.50	1.75	11.00	4	570.000
Ponts de Clichy, sur la Seine (Seine).........	3	60.00	5.60	10.00	2.00	14.00	7	1.020.000
								3.020.000

Pont du Mans. — Ce pont est construit sur la route départementale du Mans à Sablé. Il remplace un pont suspendu d'une portée de 44 mètres, établi au quartier du Greffier, au-dessus du barrage fixe et du pertuis établi sur la Sarthe pour la prise d'eau du canal.

Le pertuis dont il vient d'être question était placé au milieu de l'intervalle entre les deux anciennes culées, et ses bajoyers ont pu être exhaussés et servir de points d'appui pour la construction nouvelle, ce qui a permis d'établir, sans grands frais, un pont fixe en fonte au lieu du pont suspendu détruit.

Il a fallu seulement renforcer les deux culées, qui n'avaient autrefois à soutenir que les colonnes sur lesquelles passaient les chaînes de suspension.

Quoique la portée des nouveaux arcs fût assez faible, 18 mètres seulement, la poussée eût produit, sur la base de la fondation, un effort trop considérable que l'on a réduit dans de justes limites, en portant de $2^m.50$ à $4^m.50$ l'épaisseur des culées. Ce travail s'est effectué facilement ; lorsque le déblai eut atteint la profondeur voulue, on constitua un massif en béton avec addition de ciment de 2 mètres d'épaisseur, que l'on fit reposer sur un sol sableux, et sur ce massif on construisit la surépaisseur en maçonnerie de la culée qu'on eut soin de relier aussi bien que possible avec l'ancienne maçonnerie.

Entre les piles et les culées l'espace est occupé par deux arches en fonte de 18 mètres d'ouverture et 2 mètres de flèche. Chaque arche est composée de deux fermes qui supportent entre elles la chaussée par l'intermédiaire de poutrelles en fer I de $0^m.350$ de hauteur et des voûtes en briques et ciment. A l'extérieur des fermes viennent s'attacher des consoles qui reçoivent les trottoirs en fonte placés ainsi en encorbellement ainsi que le garde-corps en fer. Chaque ferme comprend l'arc en fonte de $0^m.700$ de hauteur extradossé parallèlement, les plaques de retombées sur lesquelles cet arc repose au moyen de cales en fer, et les tympans dont la semelle supérieure forme bordure de trottoir.

Comme on voit, rien de particulier ne signale cette application du système général des ponts à deux arcs, si ce n'est peut-être l'espacement même des fermes; la chaussée ayant 5 mètres de largeur, les arcs sont distants entre eux de $5^m.28$ d'axe en axe. Je dois dire pourtant que cet écartement des arcs a été quelquefois dépassé dans les ponts que nous avons construits.

L'intervalle entre les piles, bien qu'il ne fût que de 4 mètres, offrait cependant un problème à résoudre. Il fallait réunir ces deux piles pour les faire résister ensemble aux poussées des arches, une voûte en maçonnerie eût été d'un effet disgracieux, et l'on a trouvé préférable d'entretoiser ces piles à la hauteur de la naissance des arcs par une poutre en fonte surmontée d'un tympan, le tout rappelant la construction générale des arches voisines. L'exécution a répondu assez bien à l'effet qu'on s'était proposé d'obtenir.

Les piles de ce pont ont été coulées à la fonderie de M. Victor Doré. Le montage n'a rien présenté de nouveau ni d'intéressant. Une conduite de gaz de $0^m.30$ de diamètre a été établie sous le pont et suspendue aux poutrelles.

Les ponts de Noyen, de La Tombe et d'Isles-les-Villenoy, tous trois dans le département de Seine-et-Marne, ont été reconstruits sur un type uniforme. Leurs dimensions, comme ouverture, sont à quelques centimètres près les mêmes, et il a suffi de faire varier l'épaisseur des plaques de retombées pour pouvoir conserver pour le reste les mêmes modèles.

Les anciens ponts présentaient quelques différences de type, bien qu'ils fussent tous les trois à deux arcs seulement.

Les espacements des arcs étaient différents; dans deux de ces ouvrages les trottoirs étaient en encorbellement; dans l'autre, les fermes étaient situées à l'extérieur, à l'aplomb des garde-corps.

En les reconstruisant, on a adopté un seul projet qui présente quelques perfectionnements sur les anciens. Ainsi, le tablier qui était en bois a été refait en voûtes en briques et ciment. Les poutrelles en fonte ont été remplacées par des poutrelles en fer I de $0^m.350$ de hauteur. Les arcs, qui étaient autrefois plus hauts aux naissances qu'à la clé, ont maintenant une hauteur uniforme de $0^m.90$. L'espacement des fermes a été fixé à $4^m.75$, donnant une chaussée de $4^m.50$ et deux trottoirs en encorbellement de $0^m.75$ chacun. Les tablettes des tympans forment, comme au pont du Mans, bordure de trottoirs; vers la clé c'est la plate-bande supérieure de l'arc qui constitue elle-même cette bordure. Les trottoirs sont formés de plats bords en chêne qui reposent sur des consoles en fonte encastrées sur les arcs et les tympans.

La destruction des ponts n'avait atteint que d'une façon peu grave les culées. Les sommiers seuls avaient été en partie arrachés avec les boulons de scellement, et il fut facile d'y remédier. Les piles avaient été renversées complétement, mais leurs fondations avaient été peu endommagées. Cependant, à Noyen, on dut échouer un caisson sur l'ancienne pile, et reprendre la fondation sur 1 mètre environ au-dessous du niveau de l'eau; le choc de la pile en tombant avait brisé une partie du bloc inférieur de béton, et on le reconstitua.

Le remplacement des planchers sous chaussée en bois par des voûtes en briques et ciment qui devaient peser plus lourd, et par conséquent charger davantage les culées, appela l'attention sur la stabilité même de ces culées. Elle fut trouvée suffisante aux ponts de Noyen et de La Tombe, mais au pont d'Isles-les-Villenoy il n'en fut pas ainsi. Un mouvement de renversement s'était déjà produit, lors de la première construction, à la culée de la rive gauche, qui présentait un faux aplomb très-sensible. On savait le sol glaiseux et par conséquent compressible, il eût donc été imprudent de charger davantage les culées, sans prendre des précautions contre un nouveau mouvement.

Il était présumable que les pilotis sur lesquels reposait la fondation n'avaient pas été tout d'abord battus au refus, et qu'ils avaient cédé sous la charge qu'ils avaient eu à supporter. Le remède le plus simple qui se présentait était de battre au refus cette fois, et en arrière du massif, de nouveaux pieux, de les englober sur un mètre environ dans un massif en bon béton, et de construire par-dessus deux éperons qui viendraient contrebuter la culée et dont l'effet serait de répartir les pressions sur une plus large base. C'est ce qui fut exécuté avec un plein succès. On opérait en même temps la reprise de la face de la culée à laquelle on restitua sa verticalité. La culée de la rive droite n'avait pas subi de mouvement. Elle reposait sur un sol sableux; cependant, pour avoir toute sécurité, on l'éperonna de la même manière, mais sans faire reposer les éperons sur des pieux. Les deux culées ainsi constituées ne transmettent pas au sol une pression supérieure à 3 kilogrammes ou 3 kilogrammes et demi par centimètre carré au point le plus chargé.

Je ne dirai rien ici du pont d'Andé qui a été décrit très-complétement par M. Bonnin, dans le mémoire qu'il a communiqué à la Société.

Les *ponts de Saint-Ouen et de Gennevilliers*, près Paris, bien que récents, ont déjà une histoire assez éprouvée.

C'est là que M. Vergniais avait établi un spécimen de ses arches suspendues. Il traversait le grand bras de la Seine par deux travées de 65 mètres de portée. Pour obtenir une aussi grande ouverture sans produire des poussées considérables sur les appuis, il avait placé ses arcs par dessus la chaussée, et leur donnait une grande flèche. De plus, il s'opposait dans une certaine mesure à la déformation des arcs en les contrebutant aux reins par d'autres demi-arcs qui aboutissaient à des pilones en pierre placés sur les culées. De cette manière il espérait rendre à peu près verticales les réactions sur les appuis.

Il suspendait le tablier à ces arcs et constituait ainsi un ensemble qui ne manquait pas d'élégance. Les arcs avaient la forme générale d'un I évidé de 1^m.50 à 2 mètres de hauteur. Mais vers le milieu ce I était renforcé latéralement et rendu plus rigide par une côte d'arête placée extérieurement, et dont l'objet était d'empêcher le flambage des fermes qui n'étaient pour ainsi dire pas entretoisées, si ce n'est à la partie tout à fait supérieure vers la clé. Quelques ponts seulement ont été construits dans ce système, auquel on peut trouver plus d'une imperfection.

Quoi qu'il en soit, dans le cas particulier de Saint-Ouen, il fut demandé en 1863 au concessionnaire, qui était alors M. Émile Martin, de porter de 7 à 10 mètres la largeur des ponts de Saint-Ouen et de Gennevilliers. Les arches du système Vergniais furent alors démontées et remplacées par des arches fixes en fonte en nombre double, et par conséquent d'une portée à peu près moitié moindre : ce qui conduisit à 4 arches de 31^m.15 pour le bras de Saint-Ouen, et à 2 arches de 32^m.50 pour le bras de Gennevilliers.

Dans cette nouvelle construction on chercha à augmenter le poids mort chargeant les arcs, ce qui soi-disant devait donner au pont plus de rigidité. Dans ce but, une partie des tympans et des supports du tablier furent faits en briques hourdées de ciment. La pratique ne sanctionna pas ce système, qui ne fut pas reproduit. On conçoit, en effet, qu'il soit possible d'augmenter la rigidité des arches métalliques sans accroître leur charge morte, contrairement à l'économie.

La guerre de 1870 détruisit ces nouveaux ponts. Une pile du grand bras fut minée et détermina la chute des deux autres piles et des arches de ce bras. La pile du petit bras sauta également par la mine. Les culées furent à peine endommagées.

Quand il s'agit de reconstruire ces ouvrages, on supposa d'abord, à l'aspect des fondations, qu'elles avaient peu de dégâts. Cependant un examen plus attentif et des reconnaissances faites au scaphandre prouvèrent des désordres graves dans les massifs des deux piles qui avaient été minées. Les moises des encaissements anciens étaient brisées, et le béton était désagrégé sur une certaine profondeur. A la troisième pile on reconnut que le bloc de la maçonnerie supérieure en se renversant sur sa base avait probablement glissé, et avait causé à la fondation du côté de sa chute des détériorations analogues à celles produites par l'action de la mine. Pour ne pas s'exposer à des mécomptes on dut se décider à reprendre et réparer ces fondations en les entourant de batardeaux. La quatrième fondation fut considérée comme n'ayant pas souffert : elle paraissait être en effet parfaitement intacte. On supposa qu'il suffirait de la surmonter d'un petit caisson qui permît de dégager les pierres du socle qui étaient brisées et de les remplacer par de nouvelles. L'exécution amena une déception qu'il est intéressant de noter parce qu'elle fait voir combien il faut se

méfier des effets produits par les mouvements brusques et les chocs de masses pesantes quand même ces effets ne seraient pas apparents.

Le petit caisson, donc, étant mis à sec après étanchement préalable au moyen d'un solin en ciment, on découvrit sous le socle, dans l'axe longitudinal de la pile et dans presque toute sa longueur, une fente de 5 à 6 centimètres d'ouverture, un peu inclinée sur la verticale, que l'on put suivre jusqu'à 1m.50 environ au-dessous de l'eau et qui à ses extrémités se recourbait vers la face de la pile. Cela fit craindre que tout le bloc correspondant fût séparé du massif de la fondation, et pour y porter remède on enleva le plus possible de ce bloc, auquel on substitua un plastron en béton de ciment qui fut maintenu par un vannage formé de pieux, palplanches, moises et ventrières, battu à une petite distance de l'ancien vannage, et solidement relié avec le massif ancien par des tirants en fer noyés dans le béton. On put ainsi, avec quelque sécurité, asseoir la pile sur cette fondation.

Les nouvelles arches métalliques sont complétement en fonte, sauf les poutrelles qui reçoivent les voûtes sous la chaussée et qui sont en fer I laminé de 0m.260 de hauteur. Le tablier est supporté par quatre fermes; les deux extrêmes portent les trottoirs dont une partie seulement est en encorbellement. Cette partie est formée de plaques en fonte, recouvertes de bitume et supportées par des consoles en fonte. Les arcs sont extradossés parallèlement et présentent des dispositions analogues à celles déjà décrites. Entre les deux fermes du milieu sont établies des conduites de 0m.600 en fonte destinées au passage des eaux des égouts de la ville de Paris se rendant dans la plaine de Gennevilliers. Ces conduites, au nombre de deux actuellement, peuvent être portées à trois. Elles sont suspendues à des tirants en fer qui s'attachent aux poutrelles et qui les supportent près des piles et des culées par l'intermédiaire d'entretoises en fonte, et vers la clé des arcs par de simples colliers en fer.

Le rabotage et l'ajustage de toutes les pièces des ponts de Saint-Ouen ont été faits sur le chantier même établi dans l'île de Clichy, où nous avons installé provisoirement une machine à raboter double, dont le mécanisme a été construit par MM. Warall Elwell et Midleton sur nos indications. Cette installation nous a donné les résultats les plus satisfaisants. J'en parle ici pour faire ressortir qu'il est possible et qu'il peut être avantageux souvent de faire sur les chantiers à peu de frais des ensembles mécaniques, même assez compliqués, et devant produire un travail tout à fait précis.

Pont de Suresnes. — L'ancien pont de Suresnes se composait de trois travées suspendues sur deux piles en rivière et deux culées. Il était assez connu comme ayant marqué l'un des premiers essais des câbles de suspension formés de lames méplates réunies par des étriers, et aussi par la mésaventure arrivée aux fondations de ses piles, qui, peu de temps après leur construction, affectaient déjà un manque complet de verticalité par suite des mouvements qu'elles avaient subis.

Le nouveau pont présente quelque intérêt technique au double point de vue du système de fondation que nous y avons employé, et des arches métalliques elles-mêmes.

Un projet avait été mis en adjudication pour la somme de 600.000 francs, il reproduisait les dispositions adoptées au pont de Westminster à Londres, et plus récemment au pont de Courbevoie, près Paris. La forme des arches est elliptique, et leur donnée théorique vise à réduire à des actions verticales les réactions sur les

appuis. Pour cela, l'arc se compose de deux parties à chacune desquelles est appliqué un métal différent. La partie près des naissances devant résister à la compression est en fonte. La partie près de la clé, au contraire, est soumise à des efforts d'extension. Elle est construite en fer. C'est un grand voussoir en tôle relié fortement à des longerons en fer qui viennent s'encastrer sur les culées. Cet encastrement est produit par le serrage des extrémités des longerons sur le massif de maçonnerie, serrage obtenu au moyen de forts tirants en fer noyés dans la culée dont ils relient toutes les parties.

Ce système donne lieu à des critiques assez nombreuses. Quelque gracieuse que puisse être la forme elliptique, elle conduit à un travail peu judicieux des arcs, dont une partie est soumise à des efforts de compression, et l'autre partie à des efforts d'extension. Il y a donc une région neutre dont la position varie suivant les charges du pont et suivant la température, et où, par conséquent, les fibres et les assemblages sont sollicités tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. L'action de la température surtout s'exerçant sur deux métaux qui n'ont pas le même coefficient de dilatation produit des différences notables dans le coefficient de travail de certains points de l'arc. D'autre part l'hypothèse de l'encastrement, si elle est réalisée en un moment donné lors de la construction, ne peut pas être assurée d'une manière complète pour l'avenir; le jeu même des dilatations et des contractions du longeron peut amener au point d'encastrement un peu de glissement et de variation; dès lors on n'est plus certain que les arcs travaillent exactement comme ils ont été calculés, et la stabilité générale doit en souffrir.

Il suffira du reste de rappeler que l'ingénieur du pont de Westminster, M. Page, déclara, à la suite d'une longue discussion qui eut lieu à la Société des ingénieurs civils de Londres, qu'il n'appliquerait plus ce système.

La maison Georges Martin, adjudicataire des travaux de reconstruction du pont de Suresnes, moyennant la somme à forfait de 570.000 francs, avait la possibilité de proposer des modifications au projet type, sans pourtant en changer l'aspect extérieur.

L'étude nous conduisit à modifier complétement le principe de l'ouvrage. Les arcs elliptiques avaient, grâce au longeron, une épaisseur de 1m.20 à la clé. En sacrifiant une partie de cette hauteur, soit 0m.40, nous donnions plus de passage libre à la navigation, et nous pouvions inscrire dans la courbe du pont un arc de cercle de 1/12 à 1/13 de flèche raccordé avec les piles et les culées par une courbe adoucie. Seulement la hauteur à la clé se réduisait ainsi à des proportions très-faibles eu égard aux portées des arches, et nous ne pouvions l'augmenter sans dépasser la pente longitudinale du pont qui était déjà de 0m.035 par mètre. Cette hauteur de l'arc à la clé fut limitée à 0m.75 pour les arches extrêmes de 44 mètres d'ouverture et à 0m.80 pour l'arche centrale de 52 mètres d'ouverture. Les sections des arcs ⌶ prirent jusqu'à 0m.600 de largeur de plates-bandes, avec des épaisseurs de 0m.050 à 0m.055. Malgré cela nous aurions hésité à adopter ces données, si nous n'avions eu le moyen de restituer aux arcs une rigidité suffisante à la clé, en réunissant ensemble les quatre fermes d'une même arche par l'emploi de fortes entretoises en tôle, prises dans le joint même des voussoirs de clé et de contre-clé et reliant ces voussoirs entre eux sur toute leur hauteur. De cette manière la charge d'un arc se reporte en partie sur ses deux voisins, et il en résulte une grande raideur que la construction n'aurait pas sans ces entretoises spéciales qui ont été déjà employées par nous avec succès, dans des cas semblables d'arches à grande portée et à flèche réduite, par exemple au pont Saint-Louis, à Paris, et aux ponts de Clichy dont il sera question plus loin.

Ces dispositions constituent le caractère principal du projet qui a été exécuté à Suresnes. Pour les calculs de stabilité, nous sommes rentrés ainsi dans le cas général des ponts en arc de cercle, reposant sur leurs cales au joint des naissances et dont les tympans sont libres par rapport aux points d'appui. J'ajouterai que le pont a 11 mètres de largeur entre garde-corps, dont $7^{m}.50$ de chaussée et $3^{m}.50$ en deux trottoirs de $1^{m}.75$ chacun. Les fermes sont espacées de $3^{m}.55$ d'axe en axe, celles extrêmes forment rives et sont surmontées d'une corniche et du garde-corps.

L'âme des arcs de ces fermes de rive affecte, pour la décoration, une forme un peu bombée. Les poutrelles du plancher ⌶ de $0^{m}.300$ de hauteur s'encastrent sur ces arcs de rive et sur les arcs intermédiaires près de la clé. Dans les parties situées près des piles et des culées, ces poutrelles ne sont encastrées que sur les tympans des fermes extrêmes et elles passent par-dessus les tympans intermédiaires auxquels elles sont fixées.

Les voûtes en briques qui supportent la chaussée reposent sur les ailes inférieures des poutrelles ⌶, et celles qui supportent les trottoirs sont appuyées sur la plate-bande supérieure, ce qui, en employant des flèches convenables, donne tout naturellement la différence des niveaux existant entre la chaussée et les trottoirs et donne toute facilité pour la pose des bordures de trottoirs.

Notre projet présente une autre différence essentielle avec celui qui avait été mis en adjudication. La maçonnerie des piles dans ce dernier projet s'arrêtait aux naissances, et la partie métallique était continue d'une culée jusqu'à l'autre en passant par-dessus ces piles. Cela a l'inconvénient de reporter d'une arche sur l'autre l'effet des charges mouvantes et de la dilatation. Nous avons cru mieux faire en rendant nos travées indépendantes, et en élevant la maçonnerie des piles jusqu'au niveau de la chaussée.

Comme je l'ai dit plus haut, les fondations du pont de Suresnes offraient quelque difficulté à cause de la mauvaise nature du sol, qui est à cet endroit argileux et glaiseux sur une grande épaisseur, et par conséquent compressible. Il fallait aller chercher une couche marneuse et résistante à 8, 10 et même 11 mètres de profondeur au-dessous du fond de la rivière. De plus le barrage construit à une centaine de mètres au-dessous du pont donnait, à l'emplacement des piles, une profondeur d'eau qui n'était pas moindre de 6 à 7 mètres. Enfin le forfait limitait la dépense; force était donc d'arriver à une solution économique donnant, néanmoins, toute sécurité pour la stabilité des arches. D'accord avec nos co-traitants, MM. Bathier, Canapville et Denuelle, on se résolut à créer au moyen de pieux un sol factice incompressible, inaffouillable et résistant. Ces pieux, vu la grande longueur qu'ils devaient avoir pour que le battage fût possible, ne pouvaient être qu'en sapin. D'ailleurs ils devaient rester, en définitive, complétement enfouis dans le sol, et dans ces conditions le sapin se conserve indéfiniment. On enfonça donc sous chaque pile sept files de pieux battus au refus, et on les recépa à $0^{m}.50$ au-dessus du fond de la rivière.

On descendit ensuite une caisse sans fond, d'assez grande dimension, pour entourer complétement le plan du battage et pour atteindre au-dessus du niveau de l'eau, par sa partie supérieure, lorsqu'elle reposerait sur le sol par sa base. On coula dans cette caisse une première couche de béton de ciment sur une épaisseur de $1^{m}.50$ à 2 mètres, de manière à former une dalle dans laquelle les têtes de tous les pieux se trouvèrent engagés de $0^{m}.50$. Ils furent ainsi reliés d'une manière invariable. On

compléta le remplissage de la caisse jusqu'à l'étiage par du béton de chaux hydraulique, et l'on put, après quelques jours laissés à la prise, épuiser jusqu'au niveau d'étiage (la partie supérieure de la caisse ayant été calfatée à cet effet), et construire à sec la maçonnerie du socle et les premières assises de la pile. On coupa alors la partie de la caisse qui surmontait la fondation et qui avait fait office de bâtardeau.

La fondation des culées eut lieu sur les mêmes principes; on créa un sol factice incompressible et résistant, au moyen de pieux en sapin battus au refus. Cela permit de relever jusqu'à 1 mètre au-dessus de l'étiage le plan de cette fondation. Il en résulta la suppression du massif en béton, qui aurait surchargé inutilement le sol, et on trouva dans cette économie la possibilité de donner à la base des culées plus de longueur qu'il n'était strictement nécessaire, et l'on eut ainsi une moindre surcharge sur le sol à l'arrière des culées, et une meilleure répartition des pressions sur les pieux.

Les épreuves très-sérieuses que le pont eut à subir après sa construction ratifièrent complétement toutes les dispositions qui avaient été prises, tant pour les arches que pour les fondations. Les flexions maximum sous la charge de 400 kilogr. par mètre carré de pont ne dépassèrent pas $0^m.035$ dans l'arche de 52 mètres.

Ponts de Clichy. — Les ponts de Clichy sont composés de trois arches jetées sur chacun des bras que la Seine forme en cet endroit. Ces arches ont 60 mètres d'ouverture et 14 mètres de largeur entre garde-corps, et reposent chacune sur deux culées. Le tablier métallique est supporté par sept arcs, Les cinq fermes du milieu, espacées de $2^m.50$ d'axe en axe, correspondent à la chaussée qui repose sur des poutrelles en fer I de $0^m.260$ de hauteur; les trottoirs correspondent aux intervalles compris entre les dernières fermes du milieu et les fermes de rive.

Les arcs sont formés de 13 voussoirs d'une hauteur décroissante depuis les naissances, où ils ont $1^m.30$ jusqu'à la clé où cette hauteur est de $1^m.05$ seulement. La flèche dans la première construction était de $4^m.60$, soit 1/13 de l'ouverture. Dans ces conditions et pour parer au manque de rigidité que pouvaient présenter les arcs à cause de leur faible hauteur et de leur surbaissement, on a réuni les cinq arcs du milieu vers la clé par six fortes entretoises en tôle d'une seule pièce passant par les joints des voussoirs de clé et de contre-clé, ce qui assure à la construction une liaison énergique. Dans la première construction la chaussée et les trottoirs reposaient sur des voûtes en briques et ciment, et sous chaque trottoir passait une conduite de $0^m.600$ de diamètre, dirigeant les eaux d'égout de la ville de Paris vers Gennevilliers. Les culées étaient formées d'un massif de maçonnerie reposant sur un autre massif entièrement en béton, qui avait été coulé dans une enceinte en palplanches.

En 1870 on détruisit deux de ces arches, celles du côté d'Asnières et du côté de Clichy et on laissa intacte l'arche du bras du milieu. La reconstruction des arches détruites nous mit en face d'un problème difficile. On avait remarqué dans la première entreprise des abaissements successifs fort importants, qui avaient atteint sur l'une des arches jusqu'à $0^m.45$ à la clé. Il était urgent de reconnaître la cause de ces flexions insolites et d'y porter remède dans la nouvelle construction.

Des indices certains pour nous, mais discutés par le fait des intérêts en présence, nous avaient convaincu que les culées avaient subi tout d'un bloc un léger mouvement de renversement dans le sens de la poussée des arches. Ainsi : 1° les écartements mesurés à la partie supérieure, entre chaque culée, étaient de quelques centimètres plus grands que ne le comportait le projet; 2° au moment des épreuves

des premiers ponts, des lunettes avaient été disposées sur les parapets des culées visant des points éloignés, et elles ne s'étaient pas retrouvées sur les mêmes points après l'opération ; 3° des fils de fer avaient été tendus tangentiellement aux faces des culées vers les naissances et avaient accusé des reculements de 6, 7, 8 millimètres, quand quelque temps après on les avait replacés sur les mêmes repères ; 4° enfin le fil à plomb prouvait un défaut sensible de verticalité. Mais, comme je l'ai dit, tous ces faits, qui pourtant donnaient des indications dans le même sens, étaient discutés ou avaient soi-disant leur raison d'être dans l'imperfection des moyens d'exécution ou de mesurage.

En étudiant avec soin les conditions de stabilité des culées, il ne nous fut plus possible de douter du mouvement que nous craignions. Les appuis des arches transmettaient au sol une pression considérable, jusqu'à $10^k.50$ par centimètre carré en certains points; ce qui est le double environ de ce qu'il est prudent de faire supporter au terrain d'alluvion de la Seine, et de ce qui avait été prévu dans les études des premiers projets.

Nous vérifiâmes, en effet, que le poids de la demi-arche étant 810.000 kilogrammes, et sa poussée horizontale de 2.642.000 kilogrammes (ces deux forces appliquées au milieu du joint de naissance), leur résultante combinée avec les poids de la culée et du massif du béton inférieur produisait une résultante finale de 6.950.000 kilogrammes, passant à $2^m.50$ de l'arête extérieure de la fondation sur laquelle s'exerçait l'effort d'au moins $10^k.5$ par centimètre carré, en appliquant les règles en usage pour les calculs de stabilité.

Voilà donc quelle était la cause des abaissements des premières arches; le sol n'avait pas résisté à l'énorme pression exercée sur lui par la partie extrême de la fondation, les culées s'étaient renversées, et par conséquent les points d'appui des arcs s'étaient écartés : d'où flexion à la clé.

Il n'y avait que deux moyens de remédier à cet état de choses : le premier, c'était de faire ce que j'ai rapporté avoir été fait aux culées du pont d'Isles-les-Villenoy : renforcer les culées en les arc-boutant. Ce moyen présentait dans l'espèce des difficultés qui, pour n'être pas techniques, n'en étaient que plus sérieuses, et nous fûmes amenés à proposer l'autre remède, l'allégement des arches et l'augmentation de la flèche de manière à réduire le plus possible l'intensité de la résultante des pressions sur le sol et son inclinaison, ce qui, en la faisant passer à une plus grande distance de l'arête extérieure de la fondation (à laquelle on ne touchait pas), devait donner une plus grande surface d'action à cette résultante, et diminuer la pression par unité de surface exercée sur le sol.

L'allégement des arches fut obtenu en remplaçant les voûtes en briques et ciment, qui soutenaient la chaussée et les trottoirs, par des plaques en fonte et en rendant plus léger le garde-corps. Ces changements étaient d'ailleurs rendus nécessaires par le fait de l'augmentation du diamètre des conduites des eaux d'égout qui devait être porté de $0^m.600$ à $1^m.100$.

La flèche fut augmentée d'un mètre, ce qui s'obtint par l'abaissement des naissances d'une part, et par l'établissement d'une légère pente sur les arches. Le poids de la demi-arche devint ainsi 740.000 kil., sa poussée horizontale 1.982.000 kil. et la résultante finale 6.500.000 kil. Cette résultante se redressa jusqu'à venir passer à $3^m.65$ de l'arête extérieure de la fondation, au lieu de $2^m.50$, et la pression par centimètre carré se trouva réduite à $6^k.60$, soit un tiers en moins de ce qu'elle était dans la première construction. On jugea ce résultat suffisant, et les nouvelles arches furent en effet construites dans ces conditions.

Mais ce changement occasionna d'assez grandes difficultés pratiques, lorsqu'il fallut l'appliquer à l'arche qui existait encore sur le bras du milieu. Il ne fut d'abord plus possible de conserver les mêmes tympans qui furent démontés et remplacés. Quant aux arcs il fallait leur donner une nouvelle forme qui se résumait en un plus grand développement, sans que leur aspect fût modifié. On y arriva, en intercalant dans chaque joint de voussoir un petit voussoir en fer de dimension mathématique, et dont l'exécution et le mesurage furent très-délicats. Il restait bien à corriger une légère différence de courbure sur les voussoirs anciens, et une inégale largeur des brides de joints à l'intrados et à l'extrados des arcs; on jugea que ces infiniment petits ne seraient pas appréciés par l'œil, dans l'ensemble de la construction définitive, et ces prévisions furent justifiées par la suite. En fait, ce travail conduisit à une dépose et à une repose complète de toutes les pièces de l'arche, ce qui fut exécuté en la cintrant à nouveau. La manutention des pièces s'effectua alors simplement par l'emploi d'une grue roulante à chariot.

Une autre difficulté d'exécution fut la nécessité d'effectuer le montage en deux parties, pour maintenir la circulation pendant tout le temps de la reconstruction. Le passage des piétons et des voitures eut lieu en effet d'abord sur un pont provisoire en charpente, établi sur les cintres mêmes de montage, et pendant ce temps on mit en place les quatre fermes d'aval, soit la moitié du pont. En second lieu, la circulation s'établit sur cette moitié d'aval pendant que l'on mit en place les trois autres fermes correspondant à la moitié d'amont.

Le raccord de ces deux parties, dont la pose devait avoir lieu à plusieurs mois de distance et dans des saisons très-différentes, préoccupa beaucoup, à cause des influences que la température exerce sur la flexion des arches d'une aussi grande portée. On se rendit compte, autant que possible, de ce que devait être cette influence, et l'on en tira quelques données théoriques pour les précautions à prendre au montage, mais on tint compte aussi journellement des faits mêmes de l'exécution. On établit des comparaisons par des nivellements faits à des températures différentes, sur les arcs au fur et à mesure de leur montage, et l'on arriva ainsi à n'avoir pas plus de 1 centimètre à 1 centimètre 1/2 d'écart entre les niveaux des moitiés d'amont et d'aval, lorsque le pont étant terminé, elles eurent toutes deux les mêmes charges à supporter. Ce léger écart fut très-facilement effacé au moyen du calage, qui fut alors rectifié d'une manière définitive pour tous les arcs.

On conçoit que les épreuves des ponts, après une exécution aussi mouvementée, devaient présenter un grand intérêt.

L'épreuve morte eut lieu par l'application d'une couche de sable, d'une épaisseur uniforme de 0m.25, formant un poids de 400 kil. par mètre carré. Les flexions furent constatées sur chaque arche, pour la ferme du milieu et pour les fermes de rive, aux extrémités, aux rheins et à la clé. On chargea d'abord une moitié de la longueur du pont, puis les arches tout entières, qui supportèrent alors chacune une charge de 350.000 kil. qui resta pendant 15 heures sur le pont.

Les plus grandes flexions observées à la clé varièrent de 0m.015 à 0m.019 m/m au maximum. Après l'enlèvement de la surcharge les relèvements observés à la clé furent de 0m.015 à 0m.016 m/m. Il ne restait donc rien comme flèche permanente.

En même temps on avait eu soin de constater que les culées n'avaient fait aucun mouvement par des mesurages rigoureux de leur écartement, et aussi par les mêmes moyens que j'ai indiqués plus haut.

Les épreuves roulantes furent faites au moyen de six chariots de pierres de taille

à quatre roues, formant chacun avec leur chargement le poids réglementaire de 16.000 kil. La chaussée pouvait contenir trois de ces attelages de front en deux lignes dans la longueur de l'arche. On constata les flexions produites aux rheins et à la clé des arcs, par le passage de la charge roulante au moyen d'aiguilles suspendues au-dessous des arches, et marquant toutes les indications de flexion sur des cartes fixées à des pieux battus en rivière, et à chacun desquels était un observateur. On les constata aussi au moyen de fils de fer bien tendus, entre les parapets des culées et par des nivellements; toutes ces constatations donnèrent des résultats identiques. On fit marcher : 1° les six chariots à la file; 2° deux chariots dans un sens et un en sens contraire, la rencontre ayant lieu au milieu de l'arche, avec station d'un quart d'heure; 3° trois chariots de front avec station à la clé; 4° les six chariots en deux lignes de front avec station sur les rheins. Le maximum des flexions, constaté au moment où les trois chariots de front arrivaient à la clé, fut de 5 à 7 millimètres, et l'on remarqua constamment que pendant le stationnement il y avait un relèvement d'environ 2 millimètres, les flexions se réduisant à peu près d'une manière générale de 3 à 5 millimètres.

Toutes ces épreuves ont été faites avec le plus grand soin, et, comme on le voit, elles ont démontré complétement le succès des dispositions qui avaient été prises. Je dois dire qu'il y a maintenant plus d'un an que ces essais ont eu lieu et qu'aucun nouvel indice de mouvement n'a été observé dans aucune des arches, ce qui donne bien l'assurance d'avoir obtenu une stabilité absolue.

M. Dallot demande si l'intrados des arcs du pont de Suresnes est un arc de cercle ou une courbe plus ou moins composée.

M. Badois répond que c'est un arc de cercle parfait, et c'est ainsi qu'on l'a considéré pour les calculs; seulement, auprès des naissances, l'arc de cercle a été raccordé avec une partie courbe pour conserver l'aspect du projet mis en adjudication, ce qui était une des conditions exigées.

Il n'y a là rien qui puisse influencer le passage de la courbe des pressions, car par la position des cales dont la plus basse est placée à l'intrados de l'arc de cercle supposé prolongé jusqu'aux naissances, l'arc travaille bien dans les conditions d'un arc de cercle.

En réponse à une question de M. Dallot, M. Badois indique que le poids du métal entré dans la construction du pont de Suresnes est de 700 tonnes au moins, et qu'on a adopté 5 kilogrammes pour coefficient de travail de la fonte à la compression.

La courbe des pressions a été tracée par la méthode de M. Bresse qui tient compte des moments d'inertie aux naissances et à la clé, tandis que les méthodes ordinaires n'en tiennent pas compte; une fois la répartition des pressions trouvée à la clé et aux naissances, on peut proportionner convenablement toutes les parties de la section de l'arc; on est ainsi amené généralement à augmenter sur une certaine longueur près de la clé l'épaisseur de la plate-bande d'extrados. Cette méthode est légitime, puisque les essais ont donné les flexions calculées, à peu près au pont de Suresnes et à très-peu de chose près aux ponts de Clichy; à ce dernier pont notamment, les épreuves de réception ont été faites d'une manière très-complète et avec beaucoup de soin et ont donné des résultats très-concordants avec la théorie.

M. Dallot est d'avis que le point de passage de la courbe des pressions aux naissances est susceptible de varier notablement avec les températures; selon lui, la méthode de M. Bresse reposant sur l'hypothèse du point de passage au milieu du

joint aux naissances est purement hypothétique. On ne peut considérer comme une vérification là concordance des flèches observées aux épreuves avec les flèches calculées : car le coefficient d'élasticité de la fonte variant, d'après l'expérience et les auteurs, entre 4 et 12 billions, le choix du coefficient, s'il est pris arbitrairement, exerce une influence énorme sur les résultats des calculs.

M. Fortet indique que la méthode qu'on a désignée sous le nom de méthode de M. Bresse est due en réalité à Belanger. Elle diffère de la méthode souvent employée et purement géométrique, identique à celle qu'on emploie pour déterminer la courbe des pressions d'une voûte en maçonnerie, en ce qu'elle tient compte de l'élasticité, et réduit ainsi de trois à deux le nombre des indéterminations. On ne pourrait en réduire davantage le nombre parce qu'il tient à la nature même du problème. On se donne ordinairement les points d'application des réactions des supports de l'arc dont on est maître dans une certaine mesure par le calage. On remarque qu'une courbe des pressions représentant dans chaque section de l'arc le point d'application de la résultante des forces moléculaires n'a d'utilité que si on n'a affaire qu'à des pressions; s'il y avait aussi des tensions, la courbe pourrait sortir de l'arc et même s'en éloigner à l'infini; aussi dans les zones de l'arc soumises à des pressions et à des tensions, si l'on voulait avoir une représentation graphique du phénomène, il faudrait tracer deux courbes, ou en quelque sorte dédoubler la courbe des pressions.

M. Badois repond que si on emploie les formules de M. Bresse pour tous les ponts en arc établis dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire avec des flèches de 1/10 à 1/14, on ne trouve jamais que des pressions dans les arcs et jamais d'extensions, ce sont là les meilleures conditions; il faudrait dépasser ces limites et arriver à des flèches de 1/15 et même davantage avec des arcs de peu de hauteur pour qu'il y eût des extensions dans ces arcs.

M. Dallot a cru comprendre que M. Badois, en parlant du pont de Courbevoie et du pont de Suresnes, admettait l'impossibilité d'exécuter dans de bonnes conditions des ponts en arc avec tirants encastrés à cause des différences de tension qui se produiraient dans les tirants. Il n'est pas douteux pour M. Dallot que le principe de l'encastrement des fermes ne soit susceptible d'intéressantes applications, et il aura peut-être prochainement l'occasion de revenir sur ce sujet.

M. le Président remercie M. Badois de sa communication; les détails qu'il a donnés sur le mode de fondations, et notamment sur les effets produits dans le renversement des culées, points sur lesquels on a eu jusqu'ici peu de renseignements, la rendent particulièrement intéressante.

Il est ensuite procédé au vote sur l'admission comme membres honoraires de Sir John Hawkshaw, ingénieur, chargé des études du tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre, et du chevalier Sella, ingénieur en chef au corps des mines, député du Parlement italien; et comme membres sociétaires, de MM. Colson, Lacroix et Mercier.

Ces messieurs ont été admis à l'unanimité.

ÉTUDES AGRICOLES

LA CAMARGUE ET LE PLAN-DU-BOURG

(BOUCHES-DU-RHONE)

PAR M. A. LEGER.

Amicus Plato, sed magis amica veritas.

En présence des améliorations agricoles et sanitaires si heureusement réalisées de notre temps dans les landes de Gascogne, la Sologne et la Campine belge, on peut s'étonner de voir les plaines du Delta du Rhône, immense surface dé plus de *cent trente mille hectares*, que la nature semble pourtant avoir comblées de ses faveurs en leur donnant tout ensemble le soleil du Midi, les eaux et les limons du Rhône, rester à peu près incultes et abandonnées, et paraître défier jusqu'ici les efforts de l'industrie humaine.

Un pareil échec serait d'autant plus sensible, d'autant plus humiliant pour l'art moderne, qu'au dire de Lucain, de Plutarque et de Strabon, la Camargue, aux temps de César et de Marius, était couverte de belles cultures et d'épaisses forêts, et méritait, par la richesse de ses récoltes, d'être surnommée le *grenier de la Provence;* cela semblerait témoigner d'une fertilité dont on ne retrouve aujourd'hui plus guère de traces, et dont nous serions même bien éloignés....

Depuis longtemps, pour sa part, le Delta du Nil a recouvré une fertilité admirable, grâce aux immenses travaux entrepris par Méhémet-Ali.

Pourquoi la Camargue attend-elle encore son tour?

C'est que les conditions du Delta du Rhône ne sont comparables à aucune autre, pas même à celles qui sembleraient s'en rapprocher le plus : ainsi, il n'a pas, comme celui d'Égypte, la bonne fortune de toucher à la capitale du pays, surtout n'a pas le bénéfice des crues fixes et périodiques du Nil, et ne présente que dans certaines parties fort restreintes la constitution géologique des dépôts arénacés de ce fleuve.

A-t-on renoncé pour cela à entreprendre quoi que ce soit en Camargue?

Non, assurément; on étudie, on cherche, on a présenté beaucoup de projets, trop de projets peut-être, qui n'ont fait que diviser l'attention, partager les avis sans grand avantage pratique. On aura réussi par là, cependant, à faire mieux connaître, à mieux préciser les difficultés et les inconnues du problème, quoique, il faut l'avouer, il ne soit encore sorti de ces discussions aucun programme, aucun plan, qui, ralliant autour de lui tous les suffrages, ait permis de faire converger tous les efforts vers un but bien défini, et d'entreprendre résolûment l'œuvre de la régénération de la Camargue.

Dégagé de tout intérêt de clocher, nous avons recherché froidement la vérité, au milieu de contradictions et d'illusions sans nombre, en nous gardant surtout de cet enthousiasme irréfléchi que, pour son malheur, la Camargue a si souvent excité; ce que nous avons cru pouvoir démêler dans cette question si complexe, nous venons l'exposer sincèrement, sans parti pris....

Dans cette étude, nous décrirons d'abord l'état actuel de la Camargue et du Plan-du-Bourg, en précisant bien les conditions présentes, en montrant surtout les maux qui les accablent, et qu'il faudrait chercher à guérir.

Dans une deuxième partie, nous passerons en revue tout ce qui a pu être proposé pour transformer ce pays; nous discuterons les projets présentés et les objections sous lesquelles ils ont succombé; nous montrerons, enfin, ce qu'il en faudrait retenir et ce qu'il en faut écarter.

Dans une dernière partie, nous examinerons quelles améliorations l'expérience, le bon sens démontrent possibles, raisonnables, dans quelles limites doivent se renfermer les sacrifices qu'on devra s'imposer; nous essayerons, enfin, de dégager, de tous les enseignements que nous aurons rencontrés, une méthode à suivre qui conduise à quelque résultat utile.

Septembre 1873.

CHAPITRE PREMIER.

Situation actuelle de la Camargue et du Plan-du-Bourg.

1° Conditions générales.

POSITION ET CONFIGURATION. SUPERFICIE. — La Camargue et le Plan-du-Bourg sont les territoires formés, dans le département des Bouches-du-Rhône, par les alluvions fluviales qui s'étendent de Beaucaire, au nord, jusqu'à la branche occidentale appelée Petit-Rhône à l'ouest, aux Alpines, aux collines de la Crau-Coustière à l'est, et à la mer Méditerranée au sud, en immense surface de 91,000 hectares, traversée par les deux bras du Rhône.

La *Camargue* est l'île triangulaire comprise entre les deux bras du fleuve et la mer; sa surface est, d'après MM. Poulle et Surell, de 72,000 hectares, qui se décomposent en :

Terres cultes	14,986	hectares.
Terres vagues ou pâturages	30,552	—
Marais	7,880	—
Étangs	18,582	—
Total	72,000	—

52,000 hectares appartiennent à la commune d'Arles,
20,000 hectares à celle des Saintes-Maries.

On compte en Camargue 182 domaines sur Arles et 24 sur les Saintes-Maries.

Le *Plan-du-Bourg* s'étend sur la rive gauche du Rhône, entre la rive, le canal de Bouc, les collines de la Crau et la mer; le cadastre d'Arles comprend encore sous ce nom une partie située au delà du canal en allant vers Raphèle (marais des Chanoines, de Meyranne), et appartenant effectivement aux alluvions fluviales.

La surface totale du Plan-du-Bourg est d'environ 18,700 hectares, dont 14,726 sur la commune d'Arles et 4,000 sur la commune de Fos.

Sur la commune d'Arles, le petit Plan-du-Bourg (entre Arles et Mollégès) possède 2,000 hectares; le grand (de Champtercier à Saint-Louis),

7,300 hectares; la partie à l'est du canal, 5,400 hectares. Au point de vue des cultures, on a :

Terres cultes	2,609	hectares.
Prés et herbages	1,101	—
Vignes et bois	497	—
Terres vagues	5,190	—
Marais	2,469	—
Plages	1,579	—
Étangs	817	—
Divers	464	—
Total	14,726	—

On y compte 239 maisons d'habitation ou *mas*.

Symétrique du Plan-du-Bourg par rapport à la Camargue, se trouve, à l'ouest du Petit-Rhône, dans le département du Gard, la *Sylve-Godesque*, surface d'environ 40,000 hectares, qui appartient à la même formation et partage la même condition, si elle n'est même dans une situation plus mauvaise. Nous ne nous occuperons pas spécialement ici de cette région ; nous rappelons seulement que le problème embrasse l'ensemble de ces trois parties, soit une surface totale d'environ 130,000 hectares.

POPULATION. — La population de la Camargue, sans compter Trinquetaille, faubourg d'Arles, est de 3,375 habitants, sur Arles et les Saintes-Maries; celle du Plan-du-Bourg, sans compter Saint-Louis ni Fos, est d'environ 1,200 habitants ; ce qui donne une moyenne de 4 habitants par kilomètre carré, soit deux fois moins qu'en Sologne et 14 fois moins que la moyenne en France!

REVENUS. IMPÔTS ET CHARGES. — La valeur du sol de la Camargue, y compris celle des travaux, digues, roubines, égouts, etc., a été évaluée à 20 millions; le revenu total de l'île ne dépasse pas 1,100,000 francs, divisés entre 1,353 propriétaires.

Si l'on déduit de ce revenu brut :

Les contributions, 162,000 francs, soit	15	pour 100.
L'entretien des chaussées	10	—
L'amortissement des dettes antérieures à 1789	1	—
L'entretien des canaux et roubines	5	—
Les charges particulières aux mas	15	—
Soit en tout	46	—

on arrive à prélever 46 pour 100, pour avoir un revenu net qui ne dépasse pas 600,000 francs.

Les charges sont un peu moins considérables dans le Plan-du-Bourg; sur une valeur vénale de 9 millions et un revenu brut de 341,000 francs, les charges ne dépassent pas 30 à 35 pour 100.

CONDITIONS GÉOLOGIQUES. — La Camargue est formée tout entière d'alluvions fluviales de natures diverses, bordées vers le littoral maritime d'alluvions marines. Il en est de même du Plan-du-Bourg, entre la rive gauche et la ligne des étangs du bas de la Crau. Le tout repose en couches épaisses de plus de 60 mètres sur le diluvium alpin, qui émerge aux premières collines de la Crau-Coustière. Ce diluvium s'est répandu en éventail, comme d'un immense déversoir, par la brèche de Lamanon, sur les parois verticales de laquelle on trouve des stries énormes, traces visibles du passage de ce courant gigantesque qui avait 1,000 mètres de largeur et 30 mètres d'épaisseur au-dessus du seuil actuel de la brèche; le tout repose sur les assises du soulèvement jurassique des Alpines, ou directement, ou par l'intermédiaire de mollasses coquillières de la formation crétacée.

Le sol de la Camargue (et dans ces considérations générales nous comprendrons en même temps sous ce nom le Plan-du-Bourg) se compose d'une couche de terre argileuse, plus ou moins épaisse, reposant sur un banc considérable de sable vaseux.

CONSTITUTION DU SOL. — Cette couche argileuse, qui est le produit des alluvions modernes du Rhône, s'est toujours déposée en bourrelets d'épaisseur décroissante à mesure qu'on s'éloigne de chaque rive, en même temps que sa nature change; ce fait s'explique assez bien : dans les débordements du fleuve, au sortir du lit, la vitesse diminue, les limons sableux plus lourds se déposent le plus près de la rive, et ce n'est que plus loin, à mesure que la vitesse devient de plus en plus faible, que les matières argileuses restées en suspension parviennent à se déposer en couches plus minces, et naturellement d'une nature plus exclusivement argileuse.

PENTES DU SOL. — C'est ainsi que s'est formée la pente transversale aux bras du fleuve, ce *cordon littoral fluvial* qui est le caractère spécial de tous les lits successivement occupés par le Rhône (Bras de Saint-Féréol, Bras du Japon, Bras-Mort, bras actuels).

Cela explique la forme générale qu'affecte la Camargue, celle d'une cuvette ou pyramide triangulaire renversée, formée par les bourrelets des deux bras actuels et le *cordon littoral maritime.*

Les rives et les terres présentent, en outre, une pente longitudinale dans le sens du fleuve; l'altitude du terrain va ainsi en décroissant du nord au sud, depuis les cotes 4^{m},70 au sommet du Delta, vers la tête de la Camargue, jusqu'à 0^{m},50 et même beaucoup moins, aux embou-

chures. La rencontre des pentes transversales opposées forme un thalweg qui est occupé par des étangs et des marais, et qui participe lui-même à la pente longitudinale, s'abaissant des cotes 0m,20 dans les marais de Rousty, à 0m,00 dans ceux de la Grand-Mar et à — 1m,20 dans le Valcarès[1].

Ces pentes générales sont interrompues et contrariées quelquefois par d'autres systèmes, obéissant aux mêmes lois et marquant les différentes positions du lit à diverses époques.

Nous retrouverons la même configuration dans le Plan-du-Bourg, les mêmes pentes transversales et longitudinales, la même cuvette comprise entre le bourrelet de la rive gauche, les collines de la Crau et le cordon littoral du golfe de Fos; le thalweg en est également submergé (marais ou étangs des Chanoines, de Meyranne, de Capeau, de Ligagnau, du Landre, du Galéjon, de la Roque, du Gloria et de Fos).

CORDON LITTORAL. — Il se forme un bourrelet tout pareil, circonscrivant le littoral maritime, et qu'on appelle le *cordon littoral.*

Aux embouchures des grands fleuves, les eaux chargées de sédiments s'étalent à droite et à gauche sur la surface de la mer; par l'effet du clapotement des vagues, ces matières sédimentaires remontent le long des plages, jusqu'à ce que la vague s'arrête; là, les sables plus lourds se déposent au moment où l'eau n'a plus de vitesse; les argiles plus fines, plus légères, à l'état de dilution en quelque sorte, restent en suspension et redescendent avec la vague pour ne se déposer que dans les profondeurs des eaux calmes de la mer. Par cette sorte de lévigation se fait la séparation des argiles et des sables; ce cordon littoral s'élève généralement au niveau des plus hautes mers (1m,25 et 1m,50); puis, à mesure que la mer se retire devant la plage qui gagne, ces sables fins se dessèchent, les vents étalent et nivellent les crêtes des cordons délaissés; c'est par ces retraites successives de la mer et de son cordon littoral qu'on peut expliquer la formation de cette couche vaso-sableuse générale qui s'étend sur toute la suface de la Camargue, au-dessous de la couche limoneuse arable; cette couche, assez peu perméable à cause de la ténuité de ses éléments, a retenu une humidité très-grande, et présente un degré de salure bien supérieur à celui de la mer (6 à 10° Baumé); nous y reviendrons plus tard, quand nous nous occuperons de la géologie agricole de la Camargue.

CHAUSSÉES, DIGUES ET LEVÉES. — Malgré le relèvement naturel des rives, la Camargue et le Plan-du-Bourg étaient exposés aux inondations périodiques du Rhône. Dès longtemps, on a fait de grands efforts pour se défendre contre l'invasion des eaux.

1. Toutes ces cotes de nivellement sont rapportées au niveau de la basse mer à Marseille.

Dès le douzième siècle, on fit des chaussées le long du Rhône, en même temps qu'on fortifia les rives contre l'érosion du fleuve; ces travaux étaient exécutés et entretenus par 24 syndicats ou associations particulières, opérant isolément, souvent au détriment les uns des autres : car les travaux, dans le système des épis obliques, étaient presque toujours offensifs pour la rive opposée.

Ces syndicats des chaussées furent réorganisés à diverses reprises, en 1543, puis le 4 prairial an XIII, le 15 mai 1813, et enfin les 14 octobre 1847 et 28 mars 1849, où ils furent tous fondus en deux syndicats généraux, l'un dit de *Camargue*, l'autre du *Plan-du-Bourg*.

Ces digues étaient, à chaque crue du fleuve, presque toujours rompues en quelques points. Après 1856, on a dû les rehausser et les fortifier, et ce travail est à peine terminé qu'on prépare de nouveaux projets pour les élever et les fortifier davantage, ce qui exigera une nouvelle dépense de 1,470,000 francs. Disons, en passant, à la louange des propriétaires de la Camargue, qu'ils ne sont pas réfractaires au progrès, quand l'avantage leur apparaît bien évident : c'est ainsi que, pour la réfection de leurs digues, ils ont accepté la charge écrasante de 137 centimes additionnels de 1856 à 1873 !

Pour achever la *ceinture de la Camargue*, la Compagnie de dessèchement et M. le baron de Rivière ont fait exécuter la digue qui protége l'île du Plan-du-Bourg; et, en 1857 et 1858, l'État a fait construire la *digue à la mer* sur 25,553 mètres de longueur, à $2^m,20$ au-dessus de la mer; de cette façon, la Camargue est aujourd'hui complétement à l'abri de l'invasion des eaux, et du Rhône et de la mer.

L'avantage de cette situation, dont tout le monde n'aurait qu'à se féliciter partout ailleurs, est fort contesté en Camargue, tant il est vrai qu'aucun problème n'est simple dans ce pays difficile; on attribue à cette insubmersibilité le dépérissement de la puissance productive de la Camargue : autrefois, l'île était plus ou moins périodiquement inondée, les eaux refoulaient le sel, ou tout au moins déposaient à la surface une épaisse couche de limon précieux, d'une fertilité extrême, suppléant au manque d'engrais; aujourd'hui, le sel a envahi les parties basses et moyennes; partout il faut le combattre artificiellement; le sol lui-même se serait appauvri... D'après les documents historiques, la fertilité de la Camargue aurait été incomparablement plus grande autrefois que de nos jours, et la cause que nous signalons a pu certainement exercer quelque influence.

On a complété pareillement la ceinture du Plan-du-Bourg, qui restait ouvert du côté de la mer, entre le Grau-du-Lièvre et le canal Saint-Louis, et du côté du Rhône, sur 5 kilomètres en amont de la Tour-Saint-Louis.

Roubines. — Il n'existe pas de sources d'eau douce en Camargue. On ne peut établir de puits : la présence de la couche salée explique qu'ils

ne pourraient donner que de l'eau saumâtre, et d'autant plus qu'on descendrait plus profondément; on trouve sur quelques points des espèces de citernes naturelles, formées par des amas de sable ou *montilles*, recouvrant des excavations limoneuses imperméables; les eaux de pluie s'amassent dans ces cuvettes et ne s'évaporent pas; en creusant dans certaines *montilles*, on trouve ainsi un peu d'eau potable.

On pourra peut-être créer des puits *artésiens*. En sondant à 130 mètres, à Aiguemortes, on a trouvé de l'eau jaillissante (à la température de 18°); pour cela, il a fallu traverser la couche de sédiments du Rhône purs, le diluvium caillouteux de la Crau sur 30 ou 40 mètres d'épaisseur. En suivant les pentes de la stratification diluvienne, on peut espérer trouver à une moindre profondeur, à 80 ou 100 mètres, dans la Basse-Camargue ou le bas Plan-du-Bourg, la même nappe d'eau. On a entrepris un sondage semblable au salin de Giraud, mais on n'a rencontré que de l'eau saumâtre.

On est réduit, pour les besoins des fermes, des mas et des troupeaux, à aller chercher l'eau au Rhône par des canaux ou saignées appelés *roubines;* pour l'irrigation des jardins potagers, luzernes, etc., on élève ensuite l'eau par des norias et des manéges à chevaux. On compte en Camargue 21 roubines sur le grand Rhône et 27 sur le petit, 8 seulement dans le Plan-du-Bourg. Les roubines de Camargue ont un développement de 280 kilomètres, celles du Plan-du-Bourg de 28 seulement.

Elles appartiennent à des particuliers ou à des associations; le plus souvent, établies avec peu de soin, elles ont leur plafond plus élevé que l'étiage du Rhône, et ne donnent plus d'eau en été, précisément à l'époque où l'on en a le plus grand besoin. On est réduit alors à aller chercher l'eau au fleuve avec des tonneaux; pour certains points de l'intérieur, l'hectolitre d'eau revient ainsi plus cher que le vin dans les pays de production du Midi.

Egouts et écoulages. — La déclivité générale du sol est très-faible en Camargue (à peine 0m,08 par kilomètre en moyenne). Aussi les eaux de pluie ne peuvent-elles s'écouler que par des canaux qui les évacuent dans les récipients, marais ou étangs; elles ne sortent de là que par l'évaporation solaire, à moins qu'on ne puisse, dans certains cas, les envoyer à la mer. Pour ces écoulements, on a construit des canaux spéciaux appelés *égouts* ou écoulages, comme ceux de Rousty, de Méjannes, de Fumemorte, en Camargue, et la Vidange et le Vigueirat, sur la rive droite du Rhône.

On peut parfois heureusement profiter de certaines circonstances particulières pour amener des assèchements partiels; le Valcarès, dans les fortes chaleurs de l'été, abaisse son niveau jusqu'à — 0m,50; il offre ainsi une grande capacité pour emmagasiner les pluies d'automne.

D'un autre côté, dans le Plan-du-Bourg, on trouve au même niveau

que la mer, c'est-à-dire en moyenne à la cote 0m,40, le bief inférieur du canal de Bouc, qui offre ainsi un écoulement facile aux eaux des écoulages supérieurs et des terres qu'il traverse.

Malgré cet avantage, le Plan-du-Bourg se trouve dans une situation moins favorable que la Camargue au point de vue de l'assèchement et de l'abaissemeut du plan d'eau général : il ne dispose pas d'immenses récipients, comme le Valcarès, qu'on pourrait au besoin maintenir avec des machines à — 1m,00 au-dessous du niveau de la mer, en gagnant de la sorte un supplément de pente artificielle fort précieux.

Les étangs du Plan-du-Bourg, n'ayant ni capacité ni profondeur, ne pourront être utilisés que dans quelques cas très-particuliers. Ceux du bas de la Crau servent déjà de réservoirs aux écoulages supérieurs, quand, par de grosses mers, le canal de Bouc ne peut pas évacuer les eaux qu'il reçoit.

RHÔNE. SON RÉGIME. — Le Rhône laisse, à Saint-Denys, à 10 kilomètres en amont d'Arles, les graviers, et ne charrie plus qu'un limon gras, très-fin, et des détritus végétaux.

Il marque en moyenne 1m,60 au rhônomètre d'Arlès, soit 3m,33 au-dessus des basses mers (nivellement Bourdaloüe). Sous le pont d'Arles, le débouché est de 149m,75 ; la vitesse est toujours supérieure à 1m45 ; la profondeur est de 16m,50. Au-dessous d'Arles, le lit s'élargit et le fond se relève jusqu'à laisser souvent moins d'un mètre de tirant d'eau, au passage de Saint-Pierre, par exemple.

Le niveau descend parfois à — 0m,10 au-dessous de l'étiage, rarement à — 0m,20.

Les échelles rhônométriques sont à :

1m,738,	à	Arles (entrée du canal de Bouc),
1 ,45,	au	Fort de Pâques,
1 ,15,	à	Beaujeu,
1 ,10,	à	Tourtelein,
0 ,466,	à	Chamone,
0 ,215,	à	Saint-Louis.

A l'étiage, le profil en long du Rhône a deux pentes principales ;

La première de 0m,045 par kilomètre, d'Arles à Beaujeu ;

La deuxième de 0m,034, de Beaujeu à la mer ; soit en moyenne, sur les 47 kilomètres d'Arles à la mer, 0m,037 par kilomètre.

Aux plus grandes crues, le Rhône s'est élevé, à Arles, en

1755, à	7m,62
1810, à	6 ,65
1840, à	6 ,79
1843, à	7 ,93
1856, à	7 ,32

En 1856, la crue a atteint, à Chamone, 3m,61, et, à Saint-Louis, 1m,75 au-dessus des basses mers.

La pente à la surface peut aller ainsi, pour les plus grandes crues, jusqu'à 0m,16 par kilomètre; les chaussées du Rhône ont une pente longitudinale de 0m,15 seulement par kilomètre.

Les époques des plus basses eaux sont : janvier, puis fin août ou septembre.

Aux pluies générales et au printemps, avec la fonte des neiges, les crues surviennent; il est assez rare que le fleuve dépasse, à Arles, 6 mètres au-dessus des basses mers. Quant aux crues extraordinaires, elles se sont produites à tous les mois de l'année, sauf en juillet.

Les vents agissent énormément sur le Rhône maritime, pour augmenter ou diminuer l'effet des crues ; ainsi les vents de sud-est, en poussant la mer contre les embouchures, et barrant le Rhône, font remonter le niveau; les vents du nord facilitent, au contraire, beaucoup l'écoulement.

Le débit du Rhône atteint 8400 mètres cubes, et au delà, aux plus hautes crues, et descend à l'étiage à 504m3; le débit moyen est de 1718m3; le grand bras absorbe les 84 centièmes du cube total. A l'étiage, le débit du petit Rhône descend à 26 mètres cubes. La quantité de limon contenue dans un mètre cube d'eau du Rhône, à Arles, est de 1/230e dans les crues, 1/7000e à l'étiage, 1/2000e aux eaux moyennes. La masse de limon charriée par le Rhône annuellement s'élève à 21 millions de mètres cubes, dont 17 pour le grand bras.

Les attérissements du Rhône se composent d'un limon de couleur variable, blanc sale, noirâtre, jaune, rougeâtre, gris obscur, suivant les provenances de la crue, de la Saône, de l'Isère, de l'Ardèche, du Gardon ou de la Durance. Au-dessous de ces alluvions se trouvent, comme nous l'avons dit, les sables vaseux et les coquillages maritimes (arènes cucullées, bucardes, vénus, donaces, mactres), le tout reposant sur le poudingue caillouteux.

Par les attérissements successifs ou *theys* formés aux embouchures par ces dépôts limoneux, le delta du Rhône a gagné, de 1712 à 1830, 3,225 hectares, soit 23 hectares par an; mais par la corrosion de l'ancienne bouche du canal du Japon au phare de Faraman, il a perdu 1,254 hectares, il reste donc un gain d'environ 17 hectares par an. On a pu déterminer le cube du talus formé annuellement par les apports du Rhône ou le cône de déjection du delta; on a vérifié ainsi le chiffre calculé d'autre part par M. Surell, de 21 millions de mètres cubes, et la formation des 120,000 hectares du delta total actuel ferait bien ressortir à 23 hectares le gain annuel pour la période de six mille ans, assignée à la formation géologique actuelle.

Nous donnons ci-après (page 13 le tableau des *hauteurs moyennes*

OBSERVATIONS RHÔNOMÉTRIQUES.

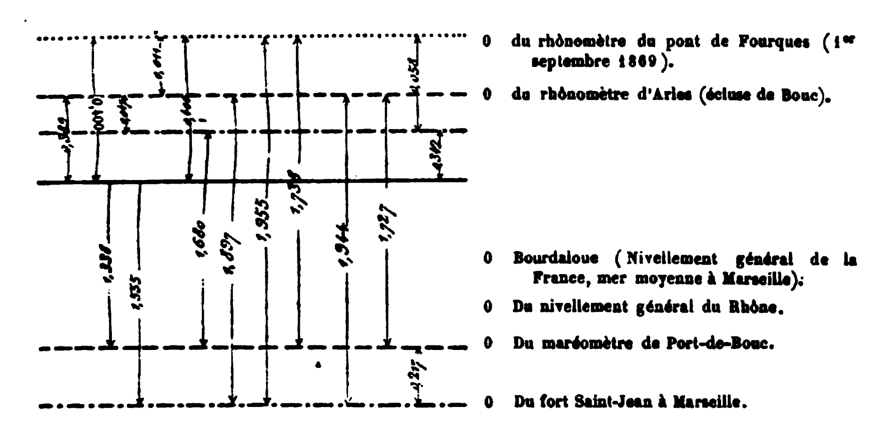
Hauteurs moyennes des eaux du Rhône, par mois et par années (en mètres).

ÉCHELLES.	Années.	Janvier.		Février.		Mars.		Avril.		Mai.		Juin.		Juillet.		Août.		Septembre.		Octobre.		Novembre.		Décembre.		MOYENNE annuelle	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Grand Rhône.		m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
ARLES.	1866	0.98	2.718	1.97	3.708	2.87	4.608	2.07	3.81	1.74	3.48	2.02	3.76	1.19	2.93	1.38	3.12	1.86	3.60	0.82	2.56	0.68	2.42	1.70	3.44	1.61	3.35
(0 = 1m.738)	1867	2.27	4.008	2.69	4.428	2.36	4.098	2.65	4.39	2.31	4.05	1.98	3.72	1.25	2.99	0.59	2.33	0.53	2.27	1.15	2.89	0.60	2.34	0.35	2.09	1.56	3.30
	1868	0.37	2.109	0.39	2.128	0.72	2.458	0.60	2.34	1.55	3.29	0.74	2.48	0.36	2.10	0.61	2.35	0.85	2.59	1.97	2.71	1.41	3.15	1.77	3.51	0.96	2.70
	1869	1.58	3.318	1.18	2.918	1.38	3.118	1.21	2.95	1.53	3.27	1.21	2.95	0.58	2.32	0.29	2.03	0.29	2.03	0.12	1.62	0.23	1.99	1.44	3.18	0.90	2.64
↕	1870	0.70	2.438	0.41	2.148	1.03	2.768	0.10	1.84	0.15	1.89	0.12	1.86	0.05	2.79	0.25	1.99	0.04	1.78	0.30	2.04	2.39	4.13	1.65	3.39	0.59	2.33
	1871	0.83	2.568	1.23	2.968	0.82	2.558	0.85	2.59	0.91	2.65	1.01	2.75	1.19	2.93	0.64	2.38	0.54	2.28	0.98	1.72	0.9[illegible]	2.64	0.33	2.07	0.85	2.59
33kilom.500	1872	1.09	2.828	1.34	3.078	1.09	2.828	1.33	3.07	2.85	4.59	2.63	4.37	1.09	2.78	1.17	1.91	0.31	2.05	3.28	5.00	2.66	4.40	3.41	5.15	1.85	3.59
	1873	1.91	3.648	0.93	2.668	2.85	4.588	1.83	3.57	1.43	3.17	1.35	3.09	.14	1.88	0.57	2.31	0.69	2.43	0.61	2.35	1.13	2.87	0.39	2.13	1.24	2.98
↕	1866	0.37	0.85	0.86	1.33	1.33	1.80	1.03	1.50	0.71	1.18	0.85	1.33	0.41	0.88	0.53	1.00	0.77	1.24	0.39	0.86	0.27	0.74	0.69	1.17	0.69	1.16
	1867	1.09	1.56	1.27	1.74	1.5[illegible]	2.02	1.05	1.52	0.86	1.33	0.73	1.20	0.44	0.91	0.20	0.67	0.19	0.66	0.44	0.91	0.31	0.79	0.26	0.73	0.70	1.17
BARCARIN.	1868	0.14	0.61	0.22	0.69	0.37	0.84	0.33	0.80	0.55	1.02	0.25	0.72	0.15	0.62	0.22	0.69	0.63	1.10	0.89	1.36	0.73	1.20	0.92	1.39	0.45	0.92
(0 = 0m.466)	1869	0.65	1.12	0.42	0.89	0.46	0.93	0.46	0.93	0.59	1.06	0.40	0.87	0.23	0.70	0.18	0.65	0.16	0.65	0.09	0.56	0.12	0.59	0.59	1.06	0.36	0.83
↕	1870	0.30	0.72	0.17	0.64	0.45	0.92	0.04	0.51	0.10	0.57	0.08	0.55	0.04	0.51	0.12	0.59	0.03	0.58	0.14	0.61	1.10	1.57	0.75	1.22	0.27	0.74
	1871	0.36	0.83	0.56	1.03	0.40	0.87	0.80	1.27	0.42	0.89	0.43	0.90	0.47	0.94	0.27	0.74	0.31	0.78	0.46	0.93	0.42	1.89	0.11	0.58	0.42	0.89
7kilom.500	1872	0.50	0.97	0.59	1.06	0.50	0.97	0.56	1.03	1.09	1.56	1.15	1.62	0.38	0.85	0.40	0.87	0.16	0.63	0.62	1.08	1.24	0.68	1.61	2.08	0.73	1.20
	1873	0.79	1.26	0.35	0.82	1.30	1.77	0.71	1.18	0.62	1.09	0.61	1.08	0.49	0.96	0.29	0.76	0.28	0.75	0.48	0.95	0.57	1.04	0.27	0.74	0.56	1.03
↕	1866	0.50	0.715	0.80	1.015	1.07	1.285	0.84	1.055	0.74	0.955	0.80	1.015	0.58	0.795	0.62	0.835	0.76	0.975	0.59	0.805	0.49	0.705	0.68	0.895	0.71	0.925
	1867	1.00	1.215	0.90	1.115	0.93	1.145	0.88	1.095	0.84	1.055	0.70	0.914	0.59	0.805	0.49	0.705	0.49	0.705	0.59	0.805	0.60	0.815	0.46	0.675	0.71	0.925
	1868	0.43	0.645	0.56	0.785	0.38	0.595	0.42	0.635	0.60	0.815	0.49	0.705	0.44	0.655	0.47	0.685	0.64	0.855	0.88	1.095	0.72	0.935	0.85	1.065	0.57	0.785
SAINT-LOUIS.	1869	0.59	0.805	0.59	0.805	0.56	0.775	0.54	0.755	0.52	0.735	0.56	0.775	0.43	0.645	0.38	0.595	0.43	0.645	0.37	0.585	0.39	0.605	0.51	0.73	0.49	0.71
(0 = 0m.215)	1870	0.60	0.820	0.57	0.79	0.73	0.95	0.32	0.54	0.22	0.44	0.34	0.56	0.23	0.55	0.29	0.51	0.19	0.41	0.44	0.66	0.89	1.11	0.31	0.53	0.43	0.65
	1871	0.58	0.86	0.74	0.96	0.52	0.74	0.62	0.84	0.35	0.57	0.96	1.18	0.71	0.93	0.52	0.74	0.26	0.48	0.67	0.89	0.75	0.27	0.46	0.68	0.59	0.81
	1872	0.72	0.94	0.76	0.98	0.71	0.93	0.73	0.95	1.11	1.33	0.74	1.16	0.60	0.82	0.61	0.83	0.49	0.71	1.20	1.42	1.09	1.51	1.30	1.52	0.85	1.07
	1873	0.90	1.12	0.66	0.88	1.16	1.33	0.83	1.05	0.70	1.01	0.78	1.00	0.72	0.94	0.59	0.81	0.62	0.84	0.80	1.02	0.94	1.16	0.49	0.71	0.82	1.04
Petit Rhône.	1866	0.79	3.005	1.98	4.11	2.76	4.98	2.22	4.44	1.61	3.83	1.89	4.11	0.99	3.21	1.22	3.44	1.77	3.99	0.60	2.82	0.54	2.76	1.56	3.78	1.49	3.71
	1867	2.19	4.405	2.54	4.76	2.26	4.48	2.57	4.79	2.17	4.39	1.83	4.07	1.03	3.25	0.37	2.59	0.20	2.42	0.98	3.20	0.41	2.68	0.39	2.61	1.41	3.63
	1868	0.31	3.525	0.43	2.65	0.61	2.83	0.45	2.67	1.40	3.62	0.54	2.76	0.17	2.39	0.40	2.62	0.78	3.00	1.92	4.14	1.27	3.49	1.67	3.89	0.83	3.05
PONT DE FOURQUES.	18 9	1.40	3.615	0.97	3.19	1.28	3.50	1.04	3.26	1.35	3.57	1.03	3.25	0.38	2.60	0.08	2.30	0.20	2.16	0.10	1.86	0.34	2.30	1.32	3.28	0.77	2.71
avant septembre	1870	0.62	2.58	0.39	2.35	0.97	2.93	0.15	2.11	0.18	2.14	0.10	2.06	0.09	2.05	0.22	2.18	0.07	2.03	0.27	2.23	2.23	4.19	1.31	3.27	0.55	2.51
1869... 0=2m.215	1871	0.98	2.94	1.43	3.39	0.90	2.86	0.91	2.87	0.96	2.92	1.08	3.04	1.28	3.24	0.70	2.66	0.58	2.54	0.76	2.72	0.97	2.93	0.29	2.25	0.90	2.86
après..... 0=1m.955	1872	1.13	3.07	1.43	3.39	1.17	3.13	1.46	3.42	3.34	5.30	2.93	4.89	1.17	3.13	1.25	3.21	0.35	2.31	3.78	5.74	3.28	5.24	3.08	5.39	2.06	4.02
	1873	1.97	3.93	0.94	2.90	3.27	5.23	1.87	3.83	1.60	3.56	1.44	3.40	1.20	3.16	0.66	2.62	0.72	2.68	0.73	2.69	1.14	3.10	0.40	2.36	1.33	3.29

(1) Cotes rhônométriques. = (2) Cotes rapportées à la basse mer à Marseille (O. du fort Saint-Jean).

mensuelles et annuelles observées pendant quelques années aux divers rhônomètres de la Camargue. Les premières colonnes donnent les cotes lues sur les échelles, les secondes les hauteurs rapportées à la basse mer à Marseille.

Nous devons dire, à propos des altitudes et des cotes de nivellement, qu'une assez grande confusion règne dans le Midi à l'endroit des repères auxquels on rapporte les opérations de cette nature. Nous donnons ici la liste de ces repères et les coordonnées qui les rattachent les uns aux autres.



RÉGIME DE LA MÉDITERRANÉE. — Le régime de la Méditerranée est intéressant à connaître au point de vue des écoulages.

Les cotes mensuelles et annuelles de son niveau sont les suivantes :

Hauteurs maréométriques moyennes (à la jetée sud de l'avant-port du canal Saint-Louis).

ANNÉES.	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Septembre.	Octobre.	Novembre.	Décembre.	MOYENNES ANNUELLES.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
1865..	0.48	0.39	0.29	0.32	0.38	0.30	0 31	0.32	0.34	0.53	0.52	0.38	0.38
1866..	0.35	0.35	0.51	0.39	0.41	0.40	0.36	0.36	0.44	0.50	0.39	0.39	0.41
1867..	0.58	0.35	0.57	0.40	0.49	0.41	0.47	0.45	0.51	0.46	0.55	0.42	0.47
1868..	0.34	0.25	0.21	0.28	0.31	0.32	0.38	0.40	0.52	0.47	0.48	0.55	0.41
1869..	0.38	0.34	0.41	0 36	0.48	0.33	0.36	0.34	0.42	0.39	0.32	0.42	0.38

La hauteur moyenne de la mer est donc d'environ 0m,42; l'amplitude moyenne de la marée journalière est de 0m,12 à 0m,14 ; aux équinoxes, favorisée par des vents de sud-est, elle peut monter jusqu'à 1m,50,



comme en 1859 et en 1870, et descendre avec les vents du nord jusqu'à — 0m,10.

La plus grande intumescence survient dans les mois qui suivent l'équinoxe d'automne : la mer monte ordinairement à 0m,90, 1m,00, rarement à 1m,10 et 1m,15 ; les plus grands abaissements s'observent dans l'équinoxe de printemps.

La salure de la mer et des étangs est fort variable : ainsi à Lavalduc, elle est de 23° Baumé; à l'Engrenier, 10° Baumé; à l'Estomac, 6° Baumé; à Port-de-Bouc, 4° Baumé; dans le golfe de Marseille, 3° Baumé; aux embouchures du Rhône, 1° Baumé.

L'analyse moyenne d'un mètre cube d'eau de mer, marquant 3°,5 Baumé, à 16° centigrades, donne :

	k. gr.
Oxyde de fer	0,003
Carbonate de chaux	0,117
Sulfate de chaux	1,392
Sulfate de magnésie	2,541
Chlorure de magnésium	3,302
Chlorure de potassium	0,518
Chlorure de sodium	30,182
Bromure de sodium	0,570
Total	38,625

Nous devons dire quelques mots de la *situation climatérique de la Camargue.*

TEMPÉRATURE. — Les températures moyennes sont :

En hiver,	+ 6°	(descendant rarement au dessous de — 5°, sauf en 1789 à 15°),
Au printemps,	+ 15°,	
En été,	+ 30°,	montant parfois en juillet et août à 45°,
En automne,	+ 20°,	
Soit.	+ 18°	de température moyenne annuelle.

PLUIES. — Il pleut en moyenne cinquante-huit fois à Arles, quarante-cinq en Camargue.

La progression dans les hauteurs de pluie tombée, à mesure qu'on s'éloigne de la mer et qu'on se rapproche des montagnes, se vérifie partout; ainsi, on trouve pour les moyennes annuelles :

	à Faraman	0m,433
	à Arles	0m,570
	à Saint-Remy	0m,615
Comme ailleurs, on a :	à Vic	0m,615
	à Montpellier	1m,508
	à Villefort	1m,741

Si les différences sont aussi sensibles, quand il s'agit de pays aussi rapprochés que Faraman, Arles et Saint-Remy, quelle erreur ne commettra-t-on pas en comparant, comme on l'a fait si souvent, le climat de la Camargue à celui d'Orange, par exemple ?

On peut prendre pour moyenne de la Camargue une moyenne entre les observations d'Arles et de Faraman, ce qui donnerait une hauteur d'eau tombée de 0m,50.

En compulsant les observations journalières, on trouve fréquemment des mois entiers et même des séries de mois sans pluie.

Quant aux pluies maxima, on observe assez souvent, à Faraman, des pluies d'orage de 0m,050, et au-dessus on trouve :

13 avril 1863 . . . . 0m,081
25 octobre 1864. . . . . 0m,162
13 octobre 1865. . . . . 0m,070

A Arles, on a trouvé :

4 octobre 1806. . . . . 0m,193 en 12 heures;

A Marseille :

15 septembre 1772. . . . . . . 0m,245 en 14 heures;

A Montpellier :

11 octobre 1863. . . . . 0m,245
15 décembre 1864. . . . . 0m,190

A Villeneuvette (Hérault),

1er octobre 1865. . . . . 0m,578 en 24 heures, dont 0m,185 en deux heures.

Mais ces phénomènes extraordinaires ne s'étendent pas sur de grandes régions.

Dans des calculs de desséchement, au lieu de 0m,075 d'eau tombée qu'on prend ordinairement, il semblerait convenable d'élever ce chiffre à 0m,100 pour la hauteur de pluie tombée en un jour.

Pour les maxima : mensuel, on prendra *octobre* 1864, à *Faraman*, donnant 0m,272, et annuel, à *Arles*, 1862, donnant 0m,915 de hauteur d'eau tombée.

Quant au *rapport* existant entre l'*eau qui coule* à la surface et l'*eau tombée,* d'après des observations suivies faites sur le bassin de Meyranne, dans des conditions comparables à celles de la Camargue, on doit prendre le coefficient 1/4 (0,25).

Évaporation. — Quant à l'évaporation annuelle, les eaux d'écoulage n'étant pas sensiblement saturées, on peut la considérer comme suivant les moyennes observées par de Cotte pour les eaux douces.

DÉSIGNATION DES MOIS.		(En millimètres). Hauteur de la tranche de pluie. Par mois.	Par trimestre.	(En millimètres). Hauteur de la tranche évaporée Par mois.	Par trimestre.
1er trimestre	Octobre....	mm. 94.9	mm. 263.0	mm. 161.4	mm. 323.2
	Novembre. .	89.0		92.6	
	Décembre. .	79.1		69.2	
2e trimestre.	Janvier. ...	32.1	149.6	116.6	353.6
	Février....	47.1		119.3	
	Mars......	70.4		112.7	
3e trimestre.	Avril......	29.5	105.0	271.0	870.3
	Mai.......	36.7		308.8	
	Juin.......	38.8		295.5	
4e trimestre.	Juillet.....	18.7	93.2	401.9	1016.3
	Août.	24.1		366.1	
	Septembre..	50.4		248.3	
	Total.....	610.8	610.8	2563.4	2563.4

Vents. En hiver règnent les vents du nord; au printemps, les vents du sud; en été, les vents varient du sud à l'ouest; en automne arrive le sud-est.

Le mistral (NNO) dure trois jours, souvent neuf, quelquefois douze; il refroidit brusquement la température, engendre de nombreuses maladies inflammatoires, et au printemps brûle les plantes et les arbres en les desséchant.

Au reste, nous joignons le tableau des observations anémométriques faites à Saint-Louis, donnant en jours d'influence par an les moyennes d'un assez grand nombre d'années.

Tableau de la fréquence des vents.

N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
jours. 48,5	j. 8	j. 10,5	j. 6	j. 14,5	j. 12	j. 57	j. 8,5	j. 18	j. 9	j. 14,5	j. 8	j. 25	j. 8,5	j. 49	j. 68
365 jours.															

Quant aux intensités, suivant la classification adoptée, et en marquant :

0 Calme,
1 Brise, vitesse de 6 mètres par seconde;

2 Grand frais, de 12 mètres par seconde;
3 Coup de vent, de 20 mètres par seconde;
4 Tempête, de 30 mètres par seconde et au-dessus,

on a :

Intensités moyennes des vents.

0	1	2	3	4
4 jours.	307 jours.	45 jours.	8 jours.	1 jour.
365 jours.				

Hygromètre. — L'hygromètre marque en moyenne 32°.

2° Situation agricole.

Du sol. — Le sol de la Camargue est partout, comme nous l'avons dit, à des degrés divers, le produit d'un dépôt de silicate d'alumine, de carbonate de chaux, de peroxydes de fer et de magnésie, et de débris végétaux; partout on y rencontre le sel marin, sur le rôle duquel nous aurons souvent à revenir.

Nous donnons ci-après les analyses de quelques terres de Camargue, faites à l'École des ponts et chaussées :

INDICATION de la PROVENANCE DES ÉCHANTILLONS.		Eau hygrométrique.	Matières organiques solubles.	Résidu insoluble dans les acides.	Alumine et peroxyde de fer.	Chaux.	Magnésie.	Chlorure de sodium.	Acide carbonique et produits divers.	TOTAUX.
1° Pré du Mas de Vert.		7.85	2.15	48.91	8.42	14.49	0 86	0.14	17.18	100
2° Bord de l'étang de Rousty.		8.45	2 55	49.26	10.32	16.33	0.40	0.71	11.98	100
3° Centre du marais de Rousty.	Haut.	8 85	8.55	44 44	8 92	15.36	0 99	0.17	12.72	100
	Bas.	11.25	4.35	47.35	8 95	14.01	0.41	0 34	13.34	100
4° Marais de Saint-Césaire.		12.50	5.30	49.24	8.63	13.17	0.16	0.08	10.92	100
5° Sansouïres du Mas de Vert.		10.45	2 95	43.82	7.62	18.53	0.17	2 17	14.29	100
6° Bord du marais de la Grand-Mar.		10.00	2.40	46.09	8 68	16.32	0.17	0.78	14.76	100
7° Centre. » »	Haut.	16.75	6 45	42.47	8.83	14.23	0.31	0.54	10 42	100
	Bas.	12.85	5.95	50.02	9.34	12.06	1.22	0 57	7.99	100
8° Marais de Sigoulette.	Haut.	8.00	25.50	40.97	8.64	10 67	0 34	0.07	6 81	100
	Bas.	5.75	4.45	61.60	8.71	9.52	0.54	0.18	9.25	100
9° Marais de Fos.		11.95	67 45	10.75	2.39	3 98	0.12	0.04	3.32	100
10° Bord du Galéjon.		39.05	10.55	9.58	3.02	25.90	0.76	0.20	10.94	100

La lévigation ne sépare jamais plus de 2 à 3 pour 100 de sable quartzeux.

La composition chimique de ces terres varie considérablement, comme le montrent ces analyses, et leur fertilité varie infiniment avec elle.

Au point de vue physique agricole, on peut faire plusieurs classes.

Les terres les plus rapprochées des rives du Rhône sont les plus fertiles, parce qu'elles sont élevées, qu'elles s'assèchent facilement, qu'elles sont protégées contre les remontées du sel par les inondations du Rhône dans les *ségonnaux* (bandes de terres laissées entre le fleuve et les chaussées) et surtout par la constitution argilo-calcaire que nous avons expliquée; le sable, les gros éléments qu'elles contiennent, divisent la masse, la rendent plus perméable, empêchent la formation des tubes capillaires

favorables aux ascensions salines; enfin ces terres ne se fendent pas autant en grandes crevasses que les argiles superficielles de la zone plus éloignée du fleuve.

Cette seconde zone, ou plus exclusivement argileuse à la surface, ou formée d'éléments beaucoup plus fins, est fortement imprégnée de sel qu'elle puise par capillarité, comme par une succion véritable, dans la couche sablonneuse salée sous-jacente; cette zone, déjà plus basse, présente de grandes difficultés de mise en culture, et craint particulièrement la sécheresse, à un double titre: à cause de sa constitution généralement plus argileuse et de l'invasion du sel. De plus, la couche argileuse est beaucoup plus mince que dans la première zone; comme nous l'avons dit, l'épaisseur au-dessus de la couche de sable va en diminuant, à partir de la rive, depuis 1m,50 jusqu'à 0m,25, et même moins; plus rapproché de la grande source de sel, le sol est beaucoup moins facilement *dessalable*, et la couche plus mince offre moins de résistance à l'ascension nouvelle du sel.

Dans certaines parties se présente une troisième zone, celle des *sansouïres*, terres sablonneuses calcaires, fortement imprégnées de sel, absolument infertiles, et qu'on pourrait considérer comme des affleurements de la couche sablonneuse ou vaseuse salée.

Sur certains points, la terre est couverte de *montilles*, véritables dunes de sable fin, souvent d'une assez grande épaisseur.

Du sous-sol. — Au-dessous de ces couches superficielles se trouve quelquefois une couche de sable assez pur, qui peut avoir 2 mètres d'épaisseur; mais, le plus souvent, on rencontre directement en sous-sol ces dépôts vaseux, très-fins, assez peu argileux, de 30 à 60 mètres d'épaisseur, et enfin, plus bas, le diluvium de la Crau.

En résumé, la couche arable a de 0m,25 à 1m,50 d'épaisseur. On ne possède malheureusement pas assez de sondages qui repèrent bien exactement la position de ces diverses couches; l'étude de sous-sol a été trop oubliée par la plupart des ingénieurs qui se sont occupés de la Camargue, et pourtant c'était un élément important à rechercher.

Le sol limoneux laisse beaucoup à désirer souvent quant à sa constitution physique: par ses éléments trop fins, il est souvent compacte et peu perméable; ou bien gluant et collant, il résiste beaucoup à la charrue et à la bêche, et forme d'énormes mottes qui se délitent très-difficilement.

Le limon argileux pèse 1639 kilogrammes le mètre cube, sa densité absolue est 2,50.

Cette imperméabilité de la surface donne à la couche arable une grande tendance marécageuse, exagérée encore par l'absence complète de pente superficielle.

Les terres sont de couleur foncée, ce qui leur fait absorber beaucoup de chaleur solaire; alors, en se desséchant, elles se crevassent profondément.

Difficultés de l'agriculture en Camargue. — Les ennemis de l'agriculture, en Camargue, sont :

Les vents,
Le sel,
L'imperméabilité du sol,
Le peu d'altitude des terres et leur horizontalité presque parfaite,
La grande sécheresse en été,
L'excès d'humidité en hiver,
Le défaut de voies de communication,
Le manque de bras, la cherté de la main-d'œuvre,
La rareté extrême du fumier,
Et l'insalubrité du climat.

Vents. — Comme nous l'avons indiqué, les vents venant de la région du nord règnent cent cinquante-quatre jours par an, en Camargue; ils amènent toujours un refroidissement brusque de la température, qui rend le climat perfide aux hommes et aux animaux. Ils ont sur l'économie végétale une action également funeste : sans parler de leur violence, qui souvent est extrême et couche ou brise les plantes, les arbustes et les arbres, ils ont au printemps une action mortelle sur les jeunes plantes et les arbustes, qu'ils tuent souvent en quelques heures, soit en les desséchant, soit en les couvrant de poussières salines qui les brûlent. Ils dessèchent le sol, qui se couvre rapidement d'une couche saline ; cette ascension de sel brûle les jeunes radicelles qu'il rencontre, en s'emparant de l'humidité qu'elles contiennent.

Les vents du sud-est sont beaucoup moins dangereux, parce qu'ils surviennent à une époque où la végétation est plus avancée. Ils transportent bien encore des poussières salines; mais, comme ils sont humides, leurs effets sont beaucoup moins funestes.

Sécheresse. — La grande chaleur et l'ardeur du soleil, en été, agissent de même pour dessécher les plantes et les arbres, faire crevasser la terre, rompre les radicelles et provoquer les remontées de sel.

Cette sécheresse extrême fait manquer une récolte de blé sur trois ou quatre, en Camargue, soit que, venue trop tôt, elle empêche le blé de se développer et de mûrir en juin; soit que, se prolongeant trop tard, et la terre restant calcinée par le soleil, et aussi dure qu'une terre cuite, on ne puisse faire à temps les labours, ou pulvériser les mottes énormes que la charrue a soulevées.

Ce ne sont pas des faits exceptionnels, et l'on peut vérifier sur les

tableaux pluviométriques que les mois et les séries de mois sans pluie sont très-nombreux.

Humidité. — Par contre, les pluies d'automne arrivent tout d'un coup et submergent toutes les parties basses ou plates : si elles arrivent de bonne heure, elles retardent les semailles, qui ne réussissent pas; si elles arrivent après les semailles, le germe pourrit. D'observations soigneusement faites en Camargue, on conclut que :

Une submersion de sept jours des terres emblavées suffit à tuer le germe; quelques heures suffisent, quand le cotylédon se ramollit; quand le germe a poussé, il ne résiste pas à une submersion de plus de douze à quinze jours.

C'est ainsi que, de 1853 à 1858, la récolte a manqué deux fois : en 1854, par un excès d'humidité; en 1857, parce que les semailles ont été tardives.

Pour les luzernes, une submersion de dix jours les fait périr; si l'eau n'arrive qu'au collet de la racine, la plante meurt au bout de trente jours. De pareilles durées de submersion sont très-fréquentes. C'est pourquoi *la question d'asséchement prime la question d'irrigation* en Camargue, et que beaucoup de propriétaires bornent leurs vœux à l'obtention d'un bon système d'écoulage.

Imperméabilité du sol. — La couche arable assez argileuse est fort peu perméable, surtout à mesure qu'on s'éloigne des lits anciens ou nouveaux du fleuve : aussi cherche-t-on à l'amender toutes les fois qu'on le peut, en répandant les sables des montilles voisines, des roseaux, des fumiers qui divisent le sol ; par les labours, on triomphe aussi de cette difficulté.

Le sous-sol vaseux, moins argileux, est plus perméable, surtout près de la surface; mais, sous la pression des couches supérieures, qui rapprochent ses éléments d'une ténuité extrême, il devient rapidement en descendant plus compacte et plus imperméable.

Sel et salure des terres. — Nous avons vu que tous les échantillons analysés des terres de la Camargue ou du Plan-du-Bourg contiennent du chlorure de sodium, en proportions variant de 0,08 à 2,17 p. 100.

On admet généralement que le sol ne doit pas contenir plus de 0,1 à 0,2 p. 100 de sel marin pour être dans des conditions médiocres de fertilité; à 0,05 pour 100, l'avoine et la garance viennent encore bien, la luzerne et la vigne réussissent partiellement; à la dose de 0,1 à 0,2 p. 100, les pâturages ne prédisposent pas le bétail à l'engraissement, mais ils communiquent à sa chair une saveur fort recherchée.

Les échantillons des analyses communiquées sont bien loin de ces con-

ditions, et pourtant ils ont été ramassés au printemps ; ils eussent été bien plus chargés de sel à la fin de l'été : alors il n'est pas rare d'en trouver dans le sol jusqu'à 4 p. 100. Le degré de salure augmente avec la profondeur, et dans les sous-sols on trouve jusqu'à 8 et 10 p. 100 de sel en poids.

Le sel monte et descend, suivant les circonstances atmosphériques : une série de pluies l'entraîne plus ou moins dans le sous-sol; mais, si l'action du soleil ou du vent vient à se faire sentir peu après, l'eau salée remonte à la surface par capillarité, s'évapore, laisse son sel, une nouvelle couche remonte, et la surface se couvre d'une nappe blanche de sel, tout à fait comparable à une forte gelée blanche.

Une pluie qui aura tassé la terre argileuse, et qui sera suivie d'un coup de vent, amène la plus grande ascension de sel.

Cette aspiration constante du sel, par le soleil et les vents, distingue bien profondément les conditions du dessalement des terres du Midi de celles du Nord; dans les *moères*, dans les *polders*, le sel, constamment dissous par un excès d'eau pluviale ou d'humidité atmosphérique, descend et s'infiltre toujours plus avant dans le sous-sol : aussi les méthodes du Nord transportées dans le Midi ont-elles rencontré le plus complet insuccès.

Les hauteurs	*d'eau tombée*	et	d'*eau évaporée* sont :
Dans le Midi. . . .	$0^m,570$ à $0^m,700$,	contre	$2^m,563$;
Et dans le Nord. .	$1^m,000$ à $1^m,200$,	contre	$0^m,60$ à $0^m,80$,

conditions profondément différentes.

C'est que l'affinité de la terre argileuse desséchée pour le sel est considérable ; et le sel a pour les terres neuves et douces mises à sa portée une puissance d'infection étonnante.

Pour dessaler ces terres, la submersion par une nappe d'eau, même courante, n'est que très-lentement efficace; des mottes de terre exposées à la pluie pendant plusieurs années ne se dessalent pas très-sensiblement. Il faut opérer un lavage, un lessivage assez profond et assez intime de la couche à dessaler.

Nous aurons à revenir sur les essais qui ont été tentés, car cette question est encore mal étudiée et trop peu connue.

On a préconisé les rizières comme moyen de dessalement : les couches superficielles remuées par les sarclages sous l'eau se convertissent en une sorte de boue qui se dessale sous l'action de l'eau plus ou moins renouvelée; mais cet effet ne se produit pas à une bien grande profondeur, et, dans les cultures subséquentes, malgré l'ameublissement du sol par les labours successifs, le sel tend à regagner sa première place; au bout de quatre à cinq ans au plus, il faut revenir au même remède. Le dessalement par les rizières n'est que superficiel, et les résultats n'en sont pas fort durables. A ce mal, qui infecte les terres de Camargue, on ne

connaît que des palliatifs, pas de curatif certain et victorieux. Les palliatifs employés pratiquement avec succès sont encore l'ameublissement de la terre par des labours fréquents, qui émiettent le sol et brisent les tubes capillaires de l'argile ; pour combattre l'insolation et empêcher la dessiccation du sol, on recouvre les terres ensemencées de joncs, de roseaux, de *triangles*, afin de maintenir la fraîcheur et d'empêcher le développement des efflorescences salines qui brûleraient les tissus délicats de la jeune plante ; plus tard, par leur ombrage, les feuilles et les tiges protégeront suffisamment le sol contre les ardeurs du soleil. C'est donc à force de travail, à force de précautions attentives que les agriculteurs de Camargue se défendent contre l'invasion du sel ; il leur faut faire bonne garde, car les *sansouïres* ont bientôt envahi de grandes surfaces.

Pour entretenir cette fraîcheur du sol, pour refouler le sel dans l'intérieur, des submersions périodiques de la surface semblent souveraines. Il ne faudrait pas cependant que le mistral s'élevât aussitôt après la submersion, sans quoi l'on aurait, comme après une pluie qui tasse la terre, une *remontée* de sel considérable. Il faudrait pouvoir alors continuer la submersion pendant toute la durée du vent, ce qui peut avoir ses dangers, et, dans tous les cas, exige un système d'irrigation d'une très-grande facilité de manœuvre et d'une grande puissance de distribution.

Nous consacrerons un article spécial à cette question capitale du dessalement.

Nous venons de voir que le sel, le vent, la sécheresse et l'humidité conspirent ensemble pour rendre bien précaire la situation de l'agriculture en Camargue; elle a encore contre elle :

Horizontalité du sol. — Le peu d'altitude des terres au-dessus de la mer, et l'horizontalité de son sol.

Ces deux fâcheuses circonstances, en s'accordant pour retenir les eaux sur place et rendre même difficile leur évacuation artificielle vers la mer, font pourrir les semences ou donnent aux terrains une propension marécageuse contre laquelle il faut désespérer de lutter avec grand succès. C'est le trait caractéristique de la Camargue, qui ne permet pas de comparer ses conditions de culture à celles d'aucune autre contrée : aussi commet-on parfois une erreur bien regrettable en confondant les conditions des prairies de la Crau et celles de la Camargue, pour prendre deux pays bien voisins; mais, tandis que dans la Crau il faut lutter par des semences nouvelles, par l'emploi de fumiers moins riches, contre la tendance qu'ont les prairies à donner des herbes toujours plus fines, plus savoureuses, mais de moindre produit en poids, dans le delta du Rhône, au contraire, quoi qu'on fasse, comme à Beaucaire, on ne peut empêcher les joncs, les herbes grossières ou parasites, de tout envahir...

On arrive à formuler en principe qu'en Camargue une terre ne vaut que par son élévation au-dessus du plan d'écoulage naturel ou artificiel

des eaux. C'est une considération qui prime toutes les autres, et qu'on a. toujours, inconsciemment sans doute, oubliée, pour ne pas contrarier les calculs de plus-values fantastiques qui sont le couronnement des projets d'améliorations proposés.

En effet, les essais de culture tentés en divers points sur des terres compactes n'ont en général donné :

A 0m,50 au-dessus du plan d'écoulage, que des roseaux, des litières, des triangles;

De 0m,50 à 1m,10 au-dessus du plan d'écoulage, des prés palustres très-communs;

De 0m,50 à 1m,50 au-dessus du plan d'écoulage, quelques céréales, légumes et fourrages blancs;

De 1m,50 à 1m,90 au-dessus du plan d'écoulage, on obtient luzernes, garances;

Et au-dessus de 1m,90, toute culture.

Main-d'œuvre. — La main-d'œuvre est fort rare et par suite fort chère en Camargue; jusqu'à nouvel ordre, l'insalubrité du climat, la difficulté d'avoir partout de l'eau potable, l'impraticabilité des chemins, arrêteront le développement de la population, qui diminue même sensiblement, d'après les derniers recensements. En attendant, un valet de ferme se paye 500 francs; un berger, de 3 à 400 francs.

Les moissonneurs se payent de 2 fr. 50 à 6 fr. par jour, suivant les demandes, et sont nourris.

Les terrassiers demandent 5 fr. et 6 fr. au minimum. Il est de notoriété que la commune d'Arles est celle de France où les salaires sont le plus élevés. Les colons s'y défendent vaillamment; ils suppléent au manque de bras par l'emploi des animaux et des machines; les appareils les plus perfectionnés sont entre leurs mains. Pour les travaux extraordinaires seulement, ils font appel aux ouvriers du dehors, qu'ils payent fort cher.

Voies de communication. — Les communications sont fort difficiles ou impossibles en Camargue; on ne compte que trois chemins à peu près praticables : ceux des Saintes-Maries, de Villeneuve et de Saint-Gilles. Dans le grand Plan-du-Bourg, on trouve un seul chemin, celui d'Arles à Saint-Louis, qui n'est même pas achevé. Les chemins ne sont nulle part empierrés, et sont impraticables aux lourds charrois pendant quatre mois de l'année.

La navigation du Rhône rend toutefois de grands services aux populations riveraines.

Pour compléter cette énumération des misères de la Camargue, rappelons encore :

Le poids écrasant des charges qui pèsent sur elle, et qui absorbent jusqu'à 40 et 45 pour 100 de son mince revenu;

La trop grande étendue des propriétés, qui ne permet pas d'entreprendre des travaux d'ensemble, la plus faible dépense par hectare devenant énorme pour des milliers d'hectares;

L'*absentéisme* des grands propriétaires, qui connaissent assez peu la Camargue et s'en préoccupent moins encore;

Les questions de mineurs, d'interdits, les baux à long terme, viennent compliquer toutes les questions et empêcher l'entente générale, nécessaire aux grandes résolutions d'ensemble.

3° De la culture du sol.

Labourage. — La rareté du fumier oblige à adopter pour la culture des céréales la jachère bisannuelle; les labours se font avec le scarificateur ou araire, le coutre et la grande charrue à roues; on emploie les mulets à ce travail : le premier instrument exige le concours de 2 mules, le deuxième de 4, et le troisième de 6 et même de 8. Le travail du premier étant 1, le deuxième vaut 2, le troisième 4.

On sème en octobre après 6 ou 8 labours; on fait passer la *fourquat*, la herse et le rouleau à pointes, pour émotter, si la terre n'est pas assez ameublie.

On emploie assez généralement, pour suppléer au manque de bras, les semoirs, les faneuses, les faucheuses à cheval et le matériel agricole perfectionné.

Engrais. — On pratique assez peu en Camargue les amendements de sable pour les parties argileuses, d'argile pour les terres légères. On emploie du mieux possible les rares engrais dont on dispose, les boues de ville, les pailles, les roseaux, les litières, les parcs ambulants des moutons. Les meilleurs fumiers de la ferme sont réservés pour les luzernes et les jardins potagers qui accompagnent chaque *mas* (maison de ferme).

On emploie beaucoup les pailles ou végétaux non fermentés répandus sur le sol, moins encore pour fumer la terre que pour l'abriter contre l'action du soleil ou du vent; on emploie à cet usage le *triangle*, le jonc, le roseau; on charge ces pailles d'un peu de terre pour les empêcher d'être dispersées par le vent. Mais le haut prix que ces produits ont atteint comme engrais des vignobles du Gard les fait exporter de plus en plus, et en privera bientôt l'agriculture de cette région.

Le manque de capitaux ou de moyens de transport ne permet pas l'emploi des engrais exotiques, dont le prix serait du reste hors de proportion avec le rendement des terres de Camargue.

Cette question des engrais doit imposer les plus grandes préoccupations à tous ceux qui rêvent l'amélioration de l'agriculture en Camargue.

Diverses cultures.

Première zone. TERRES CULTIVÉES. CÉRÉALES. — On distingue quatre zones de cultures ou d'exploitations du sol : 1° terres cultivées ; 2° pâturages ; 3° marais ; 4° étangs, correspondant à quatre zones, d'altitudes et de constitutions du sol différentes.

Les *terres cultivées en céréales* sont les *terres hautes*, situées aux abords des lits anciens et nouveaux ; la jachère est bisannuelle, sauf dans les ségonnaux, où la culture peut être continue, et dans les luzernières, où avec des fumiers la terre peut être occupée 3 ou 4 ans de suite ; on fait encore la culture continue du blé sur l'emplacement d'anciennes rizières. Les terres non emblavées ou en jachère servent à la dépaissance. Les terres de cette région sont les plus hautes, moins compactes, à peu près dessalées.

L'orge et l'avoine servent à la consommation locale, le blé seul est exporté.

Les variétés de blé les plus répandues sont : la *touselle*, ou blé ras, et la *seissette*, ou blé barbu d'hiver ; on les mélange assez souvent ; la seissette paraît mieux convenir au sol de la Camargue : elle résiste mieux à une humidité prolongée.

Le grain pèse de 81 à 82 kilogrammes l'hectolitre, il mûrit un mois et demi plus tôt qu'ailleurs, il est plus azoté et plus nourrissant que tout autre ; on réserve sa farine, riche en gluten, pour la fabrication des pâtes alimentaires. On n'arrose pas les blés ; cependant, dans des années très-sèches, en avril, mai ou au commencement de juin, un ou deux arrosages pourraient être fort utiles.

Par l'assèchement on combattrait l'imperméabilité du sol, on l'aérerait ; puis, avec de meilleures fumures, on pourrait faire disparaître la jachère bisannuelle et augmenter notablement la production.

On sème 2 hectolitres 1/4 de grain par hectare ; le rendement varie de 20 pour 1 dans les ségonnaux, à 10 pour 1 dans les bonnes terres de l'intérieur et à 4 pour 1 dans les moins fertiles.

On sème en Camargue 11,000 hectolitres de touselle et de seisette. Les semailles se font en octobre ; quelquefois la sécheresse oblige à attendre la fin de l'hiver, mais alors la récolte est souvent compromise.

La moisson se fait vers la fin de juin : alors les moissonneurs ou *gavots* descendent en foule de la Drôme ou des Basses-Alpes.

Le battage ou *dépiquage* est fait par les chevaux, usage contre lequel les machines commencent à prévaloir. Des entrepreneurs intelligents se chargent de battre le blé avec des machines Garrett et des locomobiles ou des manéges ; ils prennent de 4 à 6 pour 100 du produit en nature.

La cadelle et le charançon causent de grands ravages dans les greniers,

et dans les champs la courtilière, le criquet et la mylabre sont fort redoutés. Les brouillards viennent souvent nuire à la floraison.

Les frais de culture par hectare, sans tenir compte des pailles, sont de :

2 hectolitres 1/4 de semence à 25 fr.	56f 25c	
8 façons à 15 francs par hectare	120 00	
40 chariots de fumiers à 6 francs, pour 3 ans; par an	80 00	
Total	256f 25c	pour 14 hectol.

soit, en moyenne, par hectolitre, 18f,25 ou 22f,50 les 100 kilogrammes. Ce blé est assez recherché et se vend de 21 à 23 francs l'hectolitre, prix fort peu rémunérateur, à cause de la cherté extrême du travail. Il supporte une vive concurrence de la part des blés russes débarqués à Marseille, qui reviennent à :

Prix moyen à Odessa		13f 00	les 100 kilogr.
Mise à bord, grenier du navire	0f55		
Commission d'achat, frais de navigation	0 50		
Frêt pour Marseille	2 50		
Assurance maritime	0 45	5 60	
Intérêt d'argent	0 25		
Déchets de route et avaries ordinaires	0 75		
Droits d'entrée 0,50 pour 100 kil. (décime en sus)	0 60		
Déchargement, frais de livraison à Marseille et bénéfice de l'importateur		1 00	
Total		19 60	les 100 kilogr.

somme inférieure au prix de revient par 100 kil., 22 fr. 50 c., du blé de Camargue.

Orge. Avoine. — On sème l'orge et l'avoine après les premières pluies de septembre, pour les moissonner au commencement de juin.

On sème 2 hectolitres par hectare ; l'avoine rend 12, l'orge 8 pour 1.

La surface ainsi cultivée est environ un dixième de la surface consacrée au blé.

On a essayé, sur un grand nombre de points, la culture du riz : on espérait, par cette culture transitoire, rendre les opérations de dessalement moins onéreuses, la récolte de riz payant les frais d'arrosage. On couvrait d'eau les terres d'avril à septembre ; après deux lessivages de cette sorte, la terre était assez dessalée à la surface pour recevoir du blé pendant 3 ou 4 années, après lesquelles il fallait revenir au riz pour repousser le sel. Mais cette culture n'a pu se développer, parce que la cherté de la main-d'œuvre rend impossibles les sarclages nécessaires et l'enlèvement des mauvaises herbes, qui, sans ce travail, envahissent rapidement tout le champ et annulent le produit.

Légumineuses. — Les haricots et les pois viennent peu dans l'île ; le

maïs, le millet, le sorgho, la vesce, la lentille et la fève sont fort rares: l'extrême sécheresse et l'extrême humidité leur sont fort nuisibles.

Cultures industrielles. — On a essayé la culture de la garance, du colza et du chardon-cardère. La garance a bien réussi, elle donne de bons rendements; le colza craint trop le vent; le chardon vient bien sur les points où il n'y a excès ni d'humidité ni de sécheresse: mais en général ces cultures industrielles exigent trop d'engrais pour être susceptibles, en l'état, d'un très-grand développement en Camargue. La chimie vient de trouver des succédanés de la garance, découvertes qui portent un coup funeste à cette culture.

Vigne. — La vigne réussit assez médiocrement, même dans les meilleures terres: les vins sont de qualité très-inférieure et ne se conservent que 6 ou 8 mois; la production ne dépasse pas 25 à 30 hectolitres par hectare dans les meilleures conditions. Du reste, les vignes de la Camargue n'ont pas été soustraites par leur position aux attaques du phylloxera, qui les a complétement ravagées.

Petite culture. — La petite culture des jardins situés dans les terres très-hautes, arrosés par des roubines et des norias, réussit bien, et donne à peu près tous les produits en fruits et en légumes.

Sur les terres sèches, la pomme de terre n'est pas très-cultivée; on en consomme du reste relativement peu dans le Midi, et elle ne vient qu'en première saison.

Prairies artificielles : luzerne, trèfle, sainfoin. — On fait des prairies artificielles de luzerne, de trèfle et de sainfoin; c'est la luzerne qui convient le mieux au sol; c'est une des meilleures cultures de la Camargue dans les bonnes terres hautes; mais son étendue est malheureusement limitée, à cause du capital très-considérable, en grains, fumiers et façon, qu'elle exige.

On fume le terrain après plusieurs façons, on met jusqu'à 100^{m3} de fumier par hectare, puis on sème la luzerne à la fin de l'hiver; on la fumera quelquefois plus tard à l'entrée de l'hiver; à la troisième année, on scarifie pour enlever les chiendents, les chardons et les plantes parasites, qui les envahissent toujours. Les insectes qui l'attaquent, sont la *cuscute européenne*, qui oblige à sacrifier la prairie; la *coccinelle*, qui attaque les feuilles, et la *larve du hanneton*, les racines.

Les prairies donnent une ou deux coupes la première année et six les suivantes, y compris le regain. Pour réussir, il faut que les racines pivotantes ne trouvent pas l'eau à moins de 0^{m},50 ou 0^{m},70 de profondeur.

Les luzernières durent 4 ans, 5 au plus; la terre peut donner après,

avec de l'engrais et un assolement convenable, trois bonnes récoltes consécutives.

La luzerne non arrosée, mais bien fumée, donne 6 à 9,000 kilogrammes de fourrage, plus généralement 6 à 7,000 kilogrammes; arrosée, avec une irrigation après chaque coupe, elle peut donner, en 4 ou 5 coupes, jusqu'à 10 et 12,000 kilogrammes dans les très-bonnes terres, plus ordinairement 8 à 9,000 kilogrammes; mais il faut beaucoup fumer, et l'arrosage par norias revient souvent à 90 et même 120 francs par hectare.

La luzerne vaut 6 francs en moyenne, et quelquefois jusqu'à 9 et 10 francs.

Le sainfoin donne 4,000 kilogrammes; le trèfle, 6,000 kilogrammes de produits par hectare.

Prairies artificielles et franches. — On trouve, surtout dans les ségonnaux et sur les rives du fleuve, des *prairies naturelles*, formées d'un gazon assez touffu, où l'on rencontre le *fléau des prés* (phleum pratense), le *vulpin* (alopécurus pratensis), le foin, la *fétuque élevée* (fetuca elatior). Ces prairies se fauchent une fois par an, et l'on y met les brebis en hiver.

Comme ces herbes ne viendraient pas toujours spontanément, on fait des semis, et l'on a des *prairies franches*. On prépare les champs par des labours profonds et multipliés; on sème les graminées en février; on aplanit bien le sol à la herse; à défaut de pluies pour faire germer, on arrose par les roubines aux hautes eaux du printemps.

On fume tous les deux ans en hiver, après avoir fait raser par les brebis le peu d'herbe qui a poussé malgré le froid.

On fauche les prairies franches en mai et en septembre. Si le Rhône n'a pas eu de crue au printemps, si les irrigations ont manqué, la deuxième coupe n'est qu'un regain; il en est de même si la saison a été pluvieuse et que les eaux n'aient pu s'écouler. Mais, en général, en Camargue le terrain est trop plat : les eaux ne peuvent courir, elles restent stagnantes dans les moindres flaches, et les herbes marécageuses envahissent les prairies; il faut les retourner et recommencer, ce qui fait perdre beaucoup de temps et de produits.

En moyenne, dans les bonnes terres, la récolte de ces prairies franches est au plus de 2,800 kilogrammes d'un fourrage médiocre avec un arrosage irrégulier; le regain vaut 50 francs par hectare. On améliorerait certainement ces conditions des bonnes terres par un système bien entendu d'assèchement et d'arrosage; mais il restera la difficulté provenant de l'envahissement des herbes parasites, exaspéré par les fumures abondantes : cela fait qu'on préfère de beaucoup la culture des prairies artificielles à durée limitée, et que ces prairies naturelles sont délaissées en Camargue.

Deuxième zone. Paturages ou terres vagues. — En descendant des

terres élevées aux terres moyennes, dans les cotes de $0^{m},50$ à $1^{m},25$, on trouve les prairies sauvages, *pâturages, pacages* ou *terres vagues*, qui forment près d'un tiers de la surface totale de l'île.

Ces terres, fortement salées, sont couvertes naturellement d'*enganes* (salicornia ou salsola fructicosa), de *cornes-de-cerf* (plantago coronopus), de *saladelles* (statices limonium), de *bardanes*, d'*ourses*, de *tamaris*, etc.

Au milieu de ces prairies s'étendent souvent les *sansouïres*. Le bétail se nourrit de ces plantes; il ne craint que le *papillon* (juncus articulatus), qui vient dans les lieux humides, se rouille facilement, et donne aux moutons une maladie appelée *gamige* ou *gamadure*, produite par un ver intestinal qui ronge le foie.

Cette nourriture est fort débilitante, et ne convient nullement aux animaux de fatigue. Il faut aussi beaucoup d'eau douce pour abreuver les troupeaux soumis à cette alimentation fortement salée.

Les moutons se nourrissent des jeunes pousses de ces plantes, les chevaux passent après, et enfin les bœufs mangent ce qui a été délaissé.

Par hectare des meilleurs pâturages, on élève en moyenne 2,5 brebis; sur un hectare des plus mauvais, 3 moutons ou *vassieux*.

Les bons pâturages rendent par an $11^{f},50$, les mauvais $8^{f},25$ en moyenne, par hectare.

Ils ne sont pas en général à l'abri de la submersion; les pluies les inondent, pourrissent les herbes, tuent les enganes, et les troupeaux contractent des maladies épizootiques qui les ravagent à raison de 10 p. 100 par an. En été, ces pâturages se dessèchent tellement qu'on doit envoyer les troupeaux *estiver* dans les Alpes.

Troisième zone. MARAIS. — Les niveaux inférieurs aux terres vagues, généralement au-dessous de $0^{m},50$, sont occupés par les *marais*, dont les fonds ont fini à la longue par se dessaler et par devenir douçâtres. Il y croît une assez abondante végétation paludéenne, dont les espèces les plus utiles sont le *jonc*, le *triangle* (cyperus longus) et le *roseau* (arundo phragmites).

Le *triangle* sert de litières, de couvertures aux terres ensemencées.

Le roseau, coupé en juillet, fournit pour les chevaux une bonne litière; on le vend 2 et $2^{f},50$ les 100 kilogrammes; coupé en novembre, il donne la *sagne* pour les toitures, habitations, etc.

Le roseau a pris, dans la culture des vignes du Languedoc et des terres de Camargue, une place telle qu'on ne saurait trop en étendre la production le plus possible : ce sera peut-être le meilleur revenu de l'île, d'autant plus qu'il ne coûte d'autres frais que ceux de la récolte et du transport. Les marais ont des rendements assez variables, suivant leur proximité des débouchés, et aussi selon les herbes qu'ils produisent, leur facilité de mise à sec, etc. Près du Languedoc, ils peuvent donner 100 francs de produits, et même plus, par hectare; à mesure qu'on s'é-

loigne, ce rendement s'abaisse à 75, 50, 40 francs, et même à 6 et 7 francs par hectare.

On améliorerait beaucoup leur valeur en renouvelant fréquemment leur eau ; par un bon système d'arrosage, on maintiendrait leur niveau constant avec un faible courant, et par un bon système d'écoulage, on les mettrait rapidement à sec à un moment où les miasmes paludéens perdent de leur activité. On pourrait même facilement imaginer un mode de fauchage mécanique qui dispense complétement de mettre à sec les cuvettes marécageuses. Dans ce système, l'exploitation des marais pourrait s'étendre indéfiniment, sans être plus insalubre que la culture des prairies.

Les marais actuels servent à nourrir les chevaux et les bœufs : les premiers broutent les sommets des roseaux, la *massette* et la *coutelle*, dont les moutons ne veulent pas ; les bœufs mangent enfin les grosses pousses de tamaris et les plantes des marais les plus fangeux, là où les chevaux ne peuvent accéder.

On met un cheval par 4 hectares de marais pour le prix de 20 francs par an, et un bœuf par 4 ou 5 hectares, pour 16 francs.

Quatrième zone. Étangs. — Les fonds les plus bas sont occupés par les *étangs*. L'ancien produit des étangs, la pêche a malheureusement à peu près disparu, depuis que la digue à la mer a fermé les communications, autrefois librement ouvertes, entre les étangs et la mer. Les poissons se réfugiaient alors, au moment du frai, dans ces étangs, où ils trouvaient plus de chaleur et plus de calme pour l'éclosion de leurs œufs ; on faisait ensuite des pêches abondantes de turbots, de muges, de loups, surtout d'anguilles et de mulets.

C'était une source de beaux revenus pour la Camargue : la pêche du Valcarès rapportait ainsi de 60 à 80,000 francs !

Mais aujourd'hui, à force de réglementation, les communications des étangs à la mer sont à peu près supprimées, et la pêche ne donne presque plus rien.

Valeur des terres et mesures usitées en Camargue. — Les mesures de superficie souvent encore usitées en Camargue sont :

La canne carrée, qui vaut 4 mètres carrés;
La carterée, qui vaut 21 ares ;
La salmée (variable), qui vaut de 63 à 70 ares ;
La grande sétérée, qui vaut 26 ares;
La petite sétérée, qui vaut 17 arés 5 centiares ;
L'éminée, suivant les lieux, de 8 à 10 ares.

Quant à la valeur vénale des terres :

Les *terres labourées*, les meilleures, aux portes d'Arles ou de Trinque-

taille, à 4 mètres de hauteur, valent de 2,500 francs à 3,000 francs l'hectare; 2,000 à 2,500 francs dans les ségounaux. Dans le reste de la Camargue, elles valent 1,600, 1,200 et 800 francs, soit 1,200 francs en moyenne.

Les *prairies naturelles*, dans les meilleures conditions d'assèchement et d'irrigation, à 3 mètres de hauteur et aux portes d'Arles, se vendent de 3,600 à 4,800 francs, au maximum. (Nous ne parlons pas des parties dans la Crau, qui n'a aucun point de comparaison avec la Camargue.)

Dans le reste de la Camargue, on trouve les prix de 1,000 à 1,200 francs.

Les *herbages salés* valent, suivant l'altitude, l'humidité et la nature des fonds, 650, 450, 250 francs; la très-grande majorité se cote entre ces deux derniers chiffres, et vaut 350 francs en moyenne.

Les *marais roseliers* s'estiment de 250 à 850 francs, soit en moyenne 550 francs.

Les *étangs* valent de 20 à 50 francs.

La valeur moyenne des terres cultivées est de 987f,50;
» incultes » 512f,50:
soit, en moyenne générale, par hectare, 750 francs.

Arbres et arbustes. — Pour achever l'étude de la flore de la Camargue, nous dirons que l'humidité ne laisse guère prospérer que les bois blancs: orme, saule, peuplier, frêne, platane, pin d'Alep ou pin à pignons. Les tamaris viennent sur le bord des fossés ou sur les terrains un peu dessalés; ils servent à chauffer les fours.

Parmi les arbustes, on trouve la grande naïade, le paturin, la vigne sauvage, l'anède, l'orchis, le nénuphar.

4° Élevage des bestiaux.

Espèce ovine. — Les moutons de Camargue sont assez petits; ils ont la laine fournie, blanche, courte et assez fine. Les troupeaux passent six mois dans les pâturages du pays, où ils sont assez mal soignés et abrités. Après la tonte, vers la fin d'avril, on les envoie par bandes de 2,000 bêtes dans les frais pâturages des Alpes, entre l'Isère et le Var.

Cette migration est indispensable dans l'état actuel, parce que les chaleurs, les eaux mauvaises, les herbes rouillées ou desséchées, les émanations morbides, décimeraient les troupeaux; les variations subites de température du commencement et de la fin de l'été ne sont pas moins dangereuses, et cette situation sera difficile à améliorer...

Les maladies épizootiques sont la *cachexie aqueuse* (*gamige*, *nébladure* ou *gamadure*), dont nous avons parlé; d'autres sont contagieuses, comme la gale, le claveau ou *picote*; d'autres sont individuelles, comme le vertige ou *tournis*, la *piagne* et l'*apoplexie sanguine*. Dans les montagnes, ils ne sont exposés qu'au *féon* ou fièvre bilieuse putride. Les troupeaux rentrent en Camargue en novembre; on met les brebis portières et les agneaux dans les prairies fines, les luzernes, les guérets, et les bêtes à l'engraissement ou *vassieux*, dans les enganes et les herbes rouillées.

La mortalité est d'environ un dixième.

Les frais d'*estivage* sont de 3 fr.; ceux d'*hivernage*, de 2f,50 par tête.

Les produits sont les fumiers des parcs ou de l'étable. Chaque brebis, constamment parquée pendant six mois, peut donner une forte fumure à 180^{m^2}; mais le plus souvent on lui fait ainsi fumer jusqu'à 275^{m^2}, 300^{m^2} et même 500^{m^2}.

Le principal bénéfice est l'agneau, produit en nombre égal aux 3/4 des brebis de tout âge. Il ne faut pas oublier la laine, à raison de 2 francs par toison. Malheureusement, depuis l'introduction en France des laines d'Australie et d'Égypte, le prix des laines a baissé de 2f,25 et 2f,50 à 1f,50 et 1f,70, soit de 40 pour 100.

Les laines de Camargue sont assez estimées; on en distingue trois qualités : *Camargue*, *Estivenque blanche* et *Castedja*. On les expédie à Crest, à Vienne, à Lodève et à Carcassonne, et même dans le Nord.

On améliorerait considérablement l'élevage et ses produits, en prenant un peu plus de soins des troupeaux, en les gardant des brouillards, de l'humidité, de la trop forte chaleur, et en les écartant des pâturages corrompus. Sous ce rapport, il y a de grands progrès à faire en Camargue.....

On a essayé d'acclimater les *mérinos* : ils donnent de bons produits, mangent davantage, mais souvent ce que les autres délaissent; ils exigent plus de soins, mais donnent 3 kilogrammes de laine fort belle, qui a moins à redouter de la concurrence étrangère.

On a fait des métis en croisant les deux races : les produits sont plus forts, plus vifs, moins dociles; on y a renoncé, parce qu'ils exigeaient un plus grand nombre de bergers.

On élève environ 80,000 moutons en Camargue, 50,000 dans le Plan-du-Bourg.

En étendant les prairies, on pourra de beaucoup augmenter utilement ce nombre, mais il faudra modifier profondément les habitudes actuelles : il faudra construire des bergeries spacieuses, garder les troupeaux enfermés toutes les fois que le temps ne sera pas favorable, créer même des abris pour la journée. Réussira-t-on à supprimer la transhumance si coûteuse, surtout par les procès, les détournements et les indemnités de passage qu'elle entraîne? Il serait imprudent de le présumer, car il sera toujours difficile de combattre les conditions si fâcheuses du climat de la Camargue : l'excessive chaleur pendant le jour, et les variations brusques de température.

Chevaux. — La race des chevaux camargues est fort ancienne, elle dérive évidemment du type arabe; le croisement avec la race arabe réussit du reste admirablement et donne d'excellents produits. Le type primitif s'est malheureusement beaucoup abâtardi.

On compte 3,000 chevaux en Camargue; ils sont fort mal soignés, passent l'année entière, jour et nuit, été et hiver, exposés aux injures de l'air, par la pluie, la neige, le plus grand froid et le plus ardent soleil. Ils ne supportent pas cela impunément : les maladies, la gourme, le vertige abdominal, la fièvre bilieuse inflammatoire, les maladies charbonneuses (l'affection paludéenne des animaux), font parmi eux les plus grands ravages.

Ces animaux rendent de très-grands services, ils sont infatigables et peuvent faire jusqu'à 25 lieues en un seul jour.

Ils servent surtout au dépiquage des grains; ce travail dure de 6 à 8 semaines, pendant lesquelles ils font 20 lieues par jour; ils gagnent à ce travail 70 francs en moyenne : comme leur nourriture et leur gardiennage ne coûtent que 30 francs par an, ils rapportent encore ainsi 40 francs à leurs propriétaires.

Ce cheval mal soigné se développe lentement; il commence à dépiquer à 3 ans, ne se monte qu'à 6, et vit jusqu'à 18 ou 20 ans.

Le poulain d'un an vaut de 100 à 150 francs; à cinq ou six ans, le cheval est formé et vaut en moyenne 200 francs par *manade;* les plus beaux valent jusqu'à 4 ou 500 francs.

On améliorerait considérablement l'espèce en soignant le croisement,

en nourrissant et soignant mieux, en abritant les élèves, et au besoin en les envoyant *estiver* dans les Alpes.

TAUREAUX ET BŒUFS SAUVAGES. — La race bovine sauvage est fort peu intéressante; elle donne une viande de boucherie détestable, et son indocilité ne permet d'en tirer aucun travail. Les taureaux servent d'amusement dans les courses ; ce qui mérite peu d'être encouragé. On ne compte plus guère que 2,000 à 2,500 taureaux sauvages. Ils coûtent peu de nourriture (16 fr. par an), mangeant les herbes et les touffes les plus grossières, au milieu des marais et des fondrières les plus inaccessibles.

Les veaux se vendent à 4 mois 50 francs; à 4 ou 5 ans, les bœufs valent 200 francs; à huit ans, après les courses, 125 francs. Le laitage ne produit à peu près rien. La mortalité est d'environ 1/12. Les maladies qui les déciment, sont la *dyssenterie épizootique* et le *charbon*.

Les essais d'élevage des bœufs charollais pour la boucherie ont parfaitement réussi; on peut espérer que les métis de Charollais-Durham auront le même succès.

Les bœufs et moutons importés d'Algérie pour l'approvisionnement des marchés de Marseille, Aix, Nîmes et Montpellier, commencent à passer utilement par les herbages améliorés de la Camargue. On a essayé déjà, non sans succès, de les refaire même avec les herbages grossiers de Béricle et du château Davignon; de ces premiers résultats, on peut concevoir de grandes espérances pour l'avenir. Il faudra évidemment construire de vastes étables, de grands parcages, et recueillir soigneusement les fumiers.

Pour achever l'étude de la faune de la Camargue, passons la revue rapide des espèces qu'on y rencontre encore.

Parmi les gallinacés, on trouve : le paon, le dindon, le coq, la poule, la pintade, le pigeon, la perdrix rouge et de passage, la caille et le biset.

Parmi les passereaux : la grive, le loriot, le rossignol, le rouge-gorge, l'alouette, la bergeronnette, etc. On trouve de passage en hiver le faucon, le balbusard, le grand-duc; en toute saison, l'effraie. On trouve quelques castors, le lièvre, surtout le lapin, la belette, le campagnol, la fouine, le renard, le chat sauvage, le putois, la chauve-souris, la taupe et la loutre.

Dans les marais, on trouve la tortue d'eau, la couleuvre; de passage ou en permanence, les échassiers, comme l'outarde, le flamant, le pluvier doré, la grue, le héron, le butor, la bécassine, le roi de caille, la poule d'eau; les palmipèdes, comme le pélican, le cormoran, la macreuse, le canard, la sarcelle, etc.

CHAPITRE II.

Projets proposés pour l'amélioration de la Camargue.

Nous venons d'esquisser, à grands traits, le tableau de la Camargue actuelle, en signalant les maux qui la désolent, et qu'il faut guérir; nous allons les rappeler encore, parce qu'il n'en faut perdre aucun de vue, sous peine de n'apporter à la situation que des améliorations de détail et des adoucissements incomplets :

1° L'excès de sécheresse en été;

2° L'excès d'humidité et la submersion en hiver;

3° La salure du sol, sa compacité, son imperméabilité, maux qui sont provoqués ou aggravés par les causes suivantes :

4° La grande violence des vents régnants;

5° L'absence de pente ou de hauteur du sol au-dessus des bassins d'écoulement, et l'horizontalité presque absolue de la surface;

6° L'invasion irrésistible des plantes parasites dans les parties fertiles et l'extrême rareté des fumiers et engrais;

7° Le manque de bras, de capitaux, de débouchés, de voies de communication; la propriété trop vaste, abandonnée à des régisseurs; des conditions climatériques et sanitaires peu favorables à l'immigration; et peut-être pourrions-nous ajouter l'ignorance dans laquelle se sont trouvés souvent, de la situation vraie de la Camargue, des exigences du problème complet de son amélioration, les hommes qui ont mis le plus de zèle à s'en occuper;

8° L'incertitude enfin des plus-values à acquérir au milieu de ces conditions si précaires.

Pour guérir ces maux, pour améliorer et assainir la Camargue, qu'a-t-on cherché? qu'a-t-on proposé? c'est ce que nous allons passer en revue, en ne nous occupant toutefois que des projets sérieusement étudiés, qui ont mérité dans leur temps l'honneur d'enquêtes et de discussions sérieuses. Nous dirons quelles critiques ils ont soulevées, quelles lacunes ou quelles erreurs leur ont été reprochées; nous rechercherons ce qu'on en peut retenir, ce qu'il faut compléter en eux; nous essayerons enfin, dans une dernière partie, de tracer d'après les vœux formulés par le public, d'après les expériences faites, un nouveau programme d'essais et d'études, en indiquant quelques solutions ou parties de so-

lutions qui ont peut-être quelques chances de rallier à elles la faveur publique.

Occupons-nous d'abord des projets spéciaux à la Camargue, et après du projet présenté pour le Plan-du-Bourg.

PROJET DE M. POULLE.

Nous ne dirons rien des projets de M. Grogniard, en 1804 ; de M. Gorrse, en 1813, ni d'un premier travail de M. Poulle, présenté en 1827 : ces projets, ne s'appuyant encore sur aucun nivellement complet de la Camargue, étaient du domaine exclusivement spéculatif.

Le nivellement général de l'île ayant été fait plus tard par les soins de M. Poulle, cet ingénieur publia, le 29 avril 1837, un projet remarquable, des données duquel, selon les déclarations de MM. Surell et de Montricher, on ne saurait jamais s'écarter dans tout travail ultérieur sur la Camargue. M. Poulle comptait arroser l'île depuis le 15 janvier jusqu'au 15 septembre ; il distribuait l'eau à raison de $0^{lit.},80$ par hectare et par seconde, pendant cette période, et projetait des canaux dont la pente à la surface devait être de $0^{m},0444$ par kilomètre.

Il divisait sa distribution en deux parties : l'une, *inférieure*, avait sa prise d'eau en face de l'île de la Cappe, sur le grand Rhône, à 3 kilomètres en aval du pont d'Arles, et à la cote d'étiage de $1^{m},83$; il comptait éviter ainsi les chances d'ensablement qu'il redoutait à la pointe de Fourques et du petit Rhône.

A 6,000 mètres, ce canal bifurquait pour envoyer une branche sur Tourvieille, l'autre à l'ouest du Valcarès. Ce premier système assurait l'arrosage des terres moyennes.

Pour les terres hautes, M. Poulle projetait un *canal supérieur* partant d'un peu en aval de la prise d'eau du canal de Beaucaire, à $4^{m},09$; cette dérivation avait une pente de $0^{m},027$ par kilomètre, traversait le petit Rhône, à Fourques, par un siphon de douze tuyaux de $1^{m},20$ de diamètre, placés à $1^{m},20$ sous l'eau ; de là elle distribuait l'eau à plusieurs canaux. Pour assurer l'irrigation complète des terres hautes, il reportait même sa prise à la roche de Comps, et l'eau débouchait alors du siphon à la cote de $4^{m},28$. D'un autre côté, il projetait un réseau complet d'écoulages sur le Valcarès, et de là sur la mer, par des moulins à vent ou des manéges. Il proposait déjà l'achèvement de la digue à la mer ; la dépense s'élevait à 10,050,000 francs ; les travaux devaient durer trois ans, et l'on comptait encore trois autres années perdues.

N'ayant pas de subvention de l'État à proposer, pour décider les particuliers ou une Compagnie à s'engager dans de pareilles dépenses,

M. Poulle faisait, de très-bonne foi, concevoir l'espérance de plus-values malheureusement considérées comme exagérées. Avec son premier système d'arrosage, il comptait que 7,000 hectares à 1,000 fr. acquerraient une valeur de 2,000 fr.; 4,000 hectares de terres marécageuses passeraient de 250 fr. à 1,800 fr.; 30,000 hectares de terres vagues, de 400 fr. à 1600 francs !

Bref, le bénéfice total de son projet, déduction faite du prix des travaux, devait être de 44,327,000 fr., et, en supposant le canal dérivé à Comps, de 73,670,000 fr.!

Les avantages de ce projet étaient des prises d'eau naturelles, toujours plus sûres, toujours mieux accueillies par les populations que des prises par machines, et un réseau d'irrigation pour les terres hautes, qui ont le plus d'intérêt à l'arrosage.

Ce projet était très-général, s'appliquant au moins à 45,000 hectares.

Comme inconvénients, il présentait un système d'écoulage moins bien étudié que le système d'arrosage; le Valcarès était maintenu à un niveau trop élevé, qui dépendait encore de l'action de machines très-imparfaites, d'un fonctionnement irrégulier, comme des moulins à vent. Les siphons pouvaient s'engorger, obstrués par les limons très-fins et très-collants; le dessalement n'était pas étudié; l'estimation des plus-values était trop exagérée, ce qui ne détermina jamais aucune tentative d'association ou d'exécution. Il aurait fallu du reste faire intervenir l'État pour une large part dans d'aussi fortes dépenses.

Quoi qu'il en soit, parmi les projets que nous allons examiner, beaucoup ne vaudront pas ce premier essai, et très-peu lui seront supérieurs.

PROJET DE MM. SURELL ET DE MONTRICHER.

Le 30 avril 1850, MM. Surell et de Montricher présentèrent un autre projet.

Reconnaissant qu'on perdrait un temps précieux à former et organiser un syndicat général des propriétaires de la Camargue pour l'exécution d'un projet d'ensemble, ils cherchaient une solution qui permît l'amélioration successive et morcelée.

Ils proposaient un barrage mobile vers le milieu du cours du petit Rhône; en faisant refluer les eaux à peu près au niveau du plan d'eau à Fourques, on pouvait assurer l'arrosage direct des terres moyennes et basses, par des prises directes au fleuve ou par les anciennes roubines, formant sept bassins d'irrigation. De plus, avec la chute formée, on avait la force motrice nécessaire pour élever les eaux dans un canal de ceinture ou de retour, remontant vers Arles, et arrosant les terres hautes.

Pour l'écoulement, les terres hautes s'écoulaient directement à la mer; les terres basses, dans les cuvettes les plus profondes, comme le Valcarès, d'où elles étaient rejetées dans la mer au moyen d'autres machines mises en mouvement par la chute du même barrage.

Quelque général que fût ce système, M. Surell n'en voyait guère l'application immédiate et utile qu'à une surface de 12,700 hectares, et il estimait l'utilité de son projet à 25,000,000 de francs.

L'État n'offrait toujours aucune subvention. On peut reprocher à ce projet de trop exclusivement compter sur le débit limité et irrégulier du petit Rhône, pour assurer tous ces services; cette irrigation peut paraître incertaine, non susceptible d'accroissement : le petit bras ne débite guère que 26 mètres à l'étiage, soit, au moment où l'arrosage est le plus nécessaire, une quantité d'eau suffisante pour 26,000 hectares seulement, et même beaucoup moins, en déduisant la quantité nécessaire au fonctionnement des moteurs hydrauliques qui devraient, d'une part, envoyer l'eau aux terres hautes les plus desséchées, et, de l'autre, épuiser le Valcarès. On peut craindre aussi que le petit Rhône, que les barrages ne s'ensablent; on doit rejeter ces solutions pour les mêmes raisons qui les font prescrire aujourd'hui de tout le cours du bas Rhône. Il faudrait également renforcer toutes les digues longitudinales du fleuve.

L'idée de M. Surell, de faire des groupes des syndicats isolés, sans attendre cette entente générale que l'expérience de ces vingt dernières années montre très-difficile à obtenir, mérite d'être retenue.

Malgré les facilités offertes, devant ces grosses dépenses, devant l'incertitude du résultat, il ne sortit encore rien de ce projet, qu'il faut signaler cependant comme le plus ingénieux et le plus séduisant qu'on ait peut-être jamais présenté.

PROJET DE MM. RABOURDIN ET DE BASSANO.

Ce que l'initiative des particuliers semblait absolument impuissante à tenter, une Compagnie voulut l'entreprendre.

Sur le projet d'un ancien ingénieur en chef des ponts et chaussées, M. Rabourdin, projet présenté le 5 décembre 1856, et rentrant plus ou moins dans les idées de M. Poulle, une Compagnie, dite *Société de la grande Camargue*, se forma sous l'impulsion énergique de M. de Bassano, qui pensait pouvoir assurer à son œuvre, avec la faveur du gouvernement, des concessions avantageuses, et probablement, ce qui avait fait complétement défaut jusque-là, de très-larges subventions.

Pour obtenir des adhésions, des souscriptions, rien ne fut épargné; l'Administration s'en mêla et déploya le plus grand zèle.

Il reste dans le pays des souvenirs assez vagues sur le mode de fonctionnement de cette société, sur les conditions qu'elle imposait à son concours; son but était la mise en valeur, l'exécution des travaux, la vente de l'eau d'irrigation à un taux d'abonnement fixé, et, après un certain laps de temps, le partage de la plus-value acquise sur estimation contradictoire.

Ce projet, ces démarches n'eurent pas plus de succès, et très-probablement pour des causes toutes pareilles à celles qui feront échouer plus tard les combinaisons Bernard et Ducos, dont nous parlerons plus loin.

Rien n'était donc fait encore, quand, le 27 avril 1859, le Ministère donna l'ordre de réviser le projet de M. Surell, et de rédiger un projet d'ensemble pour toute la Camargue; en réponse à cette invitation fut dressé, le 30 décembre 1859, le projet de MM. Bernard et Perrier.

PROJET BERNARD ET PERRIER.

Le programme que s'était tracé M. Bernard était vaste :

Il voulait, par le *desséchement*, transformer les pâturages et les marais en terres cultivables et en prairies, améliorer les terres par le drainage, et surtout assainir tout le pays; puis, par *l'irrigation*, varier la culture, faire du jardinage, morceler la propriété pour peupler la Camargue, fixer la population au sol, et donner à l'agriculture les bras qui lui manquaient.

Il complétait, par un réseau de routes agricoles, la mise en exploitation de l'île. Sur ces données, M. Bernard a fait un projet admirablement étudié au point de vue technique, dans lequel toutes les chances sont consciencieusement supputées et prévues; malheureusement, il n'a un peu vu dans la question de régénération de la Camargue qu'un problème d'hydraulique; comme il l'a savamment traité, comme son projet constitue un progrès marqué, et qu'il a soulevé après lui des objections, des discussions longues et sérieuses, qui ont eu au moins ce résultat de préciser mieux les termes du problème, nous devons nous y arrêter longuement.

Desséchement. — D'accord en cela avec toutes les idées reçues, le projet est beaucoup plus complet, au point de vue des écoulements et du desséchement, que de l'irrigation.

La surface desséchée doit être de 36,900 hectares; on laisse de côté la cuvette du Valcarès, qui servira de grand collecteur des écoulages, les

étangs inférieurs, ceux du château Davignon et de l'île du Plan-du-Bourg.

La surface à dessécher est divisée en quatre bassins : *Nord*, *Ouest*, *Est*, *de Roquemaure*.

On projette 213,000^{m} de canaux d'écoulage, débouchant dans le Valcarès, à des cotes de plafond variant de 0^{m},26 à 1^{m},50, desservant cette surface de 36,900 hectares, avec des largeurs variant de 2 et 3 mètres jusqu'à 18, 22, 27 et 45 mètres et avec des pentes de 0^{m},10 à 0^{m}04 par kilomètre. Le niveau du Valcarès doit être maintenu à — 0^{m},50; pour ce, une machine d'épuisement viendra en aide à l'évaporation naturelle.

Les canaux sont calculés pour avoir un débit de 0$^{lit.}$,20 par seconde et par hectare, provenant soit des pluies, soit des colatures d'arrosage.

Irrigation. — On fera de l'irrigation naturelle par prise d'eau directe dans le Rhône; les terres hautes que l'eau n'atteindrait pas ainsi directement, seront arrosées par machines, mais on laisse ce soin à un syndicat spécial.

On formera deux groupes d'arrosage :

L'un, prenant l'eau au petit Rhône, entre Fourques et Caseneuve, à la cote de 2^{m},06; l'autre, au grand Rhône, vers Tourtoulein, à la cote d'étiage de 0^{m},15.

Le premier groupe compte 83,700 mètres de canaux, de largeur variant de 1^{m},00 à 6^{m},50, 9, 11 et 15 mètres; les pentes vont de 0^{m},03 à 0^{m},04, et même 0^{m},05 par kilomètre.

On considère deux *périmètres d'irrigation* : l'un, dit *périmètre d'étiage*, desservi par les hauteurs assurées de l'étiage ; l'arrosage est constant, régulier, sûr ; la surface correspondante est de 10,600 hectares ; l'autre, dit *périmètre de l'irrigation de printemps*, comprend une zone supplémentaire de 9,250 hectares, plus élevée, que pourra atteindre, mais d'une façon un peu aléatoire et irrégulière, l'eau du Rhône, bien souvent pendant le printemps au-dessus de son étiage. En comptant sur une surélévation de 0^{m},70 à Fourques, de 0^{m},40 à Tourtoulein, on pourra cependant être assuré d'une irrigation très-sensiblement régulière dans toute cette zone, comme le montrent les observations rhônométriques faites depuis 1839 : de 1839 à 1859, du premier avril au premier octobre, sur 3,843 jours, cette irrigation aurait été assurée pendant 2,747 jours, soit plus de 7 fois sur 10.

Quant aux autres terres plus hautes, donnant ensemble une surface de 17,050 hectares, on ne pourra les arroser qu'artificiellement.

L'irrigation se fera à raison de 1 litre par seconde et par hectare, proportion généralement adoptée. Les canaux auront des talus inclinés à 3 de base pour 2 de hauteur; on admettra une tranche d'eau de 1^{m},70 à 2^{m},20, le niveau restant à 0^{m},50 en contre-bas du couronnement, pour le

premier groupe; pour le second, la tranche d'eau aura de 1m,40 à 1m,60 de hauteur.

Quant au curage de ces canaux, M. Bernard, admettant en moyenne les troubles à 1/2500e du cube de l'eau, compte avoir à extraire annuellement 106,041 mètres cubes de dépôts, donnant, à 0f,75 le mètre, une dépense de 80,000 francs, ou de 1f,10 par hectare.

Régime du Valcarès. — M. Bernard a fait une savante discussion du régime de Valcarès, envisageant toutes les hypothèses possibles pour les années, les mois de pluies moyennes ou maxima, avec ou sans irrigation. Suivant les circonstances, le niveau de ce collecteur pourra osciller entre — 0m,50, son niveau normal, et + 0m,32 et même + 0m,45, son maximum. Pour maintenir le niveau dans ces limites, M. Bernard propose une machine à vapeur d'épuisement de 160 chevaux, coûtant par an 37,000 francs; il écarte les moteurs hydrauliques, dont le travail serait moins régulier, et pour lesquels les frais de curage des canaux d'amenée se monteraient à 54,000 francs.

Routes agricoles. — Il propose la création de trois routes agricoles :

1° D'Arles à Saint-Gilles;
2° — aux Saintes-Maries;
3° — à Faraman.

Ces routes devaient avoir 8 mètres de largeur, et, au milieu, une chaussée empierrée de 2m,50.

Dépense totale du projet. — D'après ce premier projet, la dépense totale devait être :

Pour le premier établissement :

Construction des canaux d'assèchement. . .	1,400,000 francs.
Établissement des machines élévatoires. . .	480,000
Canaux d'irrigation.	1,720,000
Routes agricoles.	800,000
Dépense totale de premier établissement. . . .	4,400,000 francs.

Pour l'entretien annuel :

Curage des canaux d'irrigation : 1er groupe. . .	75,000 francs.
— 2e groupe. . .	14,000
Appareils élévatoires.	45,000
Curage et faucardement des canaux d'assèchement.	26,000
Dépense totale annuelle d'entretien.	160,000 francs.

Pour la première fois, on voit nettement formulée la proposition d'une subvention de l'État, qui devait prendre à sa charge les 800,000 francs des routes agricoles, et un tiers de la dépense restante, 1,200,000 francs, soit en tout 2,000,000 de francs, le département et les particuliers devant faire face aux 2,400,000 francs restants.

M. Bernard estimait à 53 millions la plus-value que la propriété devait acquérir en 10 ans; dans ce calcul, il parlait de 2,500 francs de plus-value pour les marais, de 2,000 francs pour les terres vagues et de 1,500 francs pour les terres cultes. Après quelques remaniements concertés avec son ingénieur en chef, M. Perrier, M. Bernard réduisit à 12,000 hectares la surface intéressée aux travaux et réellement assurée d'une irrigation permanente; et la dépense totale fut élevée à 5,300,000 francs, dont 2,300,000 francs à la charge de l'État.

En répartissant ces dernières dépenses sur les seules parties irriguées, dont on peut plus facilement déterminer la part d'intérêt, on trouve que la dépense se fût montée à 270 francs par hectare pour un nouveau premier groupe, et à 545 francs pour un second.

C'est sur ce projet ainsi amendé que s'ouvrirent une enquête sérieuse et la discussion des conseils municipaux, de diverses commissions, etc.

Nous allons résumer les objections et les critiques qu'on a faites ou qu'on peut faire encore à ce projet, en les présentant avec toute la déférence qui est due à un aussi consciencieux travail et au caractère de son auteur.

Ce projet ne répond pas aux vœux du pays; il ne s'est peut-être pas assez inspiré des vrais besoins de la situation.

Cette dépense, relativement considérable, aboutit à irriguer 12,000 hectares sur les 72,000 hectares de la Camargue, et encore 12,000 hectares de terres moyennes et basses, celles dont la régénération doit être la moins profitable, la moins productive. On abandonne les terres hautes. celles qui offrent le plus de ressources, qui peuvent rapporter les plus-values les plus élevées et les moins contestables.

On donne tous ses soins aux marais, qu'on veut *dessécher:* c'est là une faute, une erreur contre laquelle on n'a pas assez de voix pour s'élever en Camargue; le plus souvent, les fonds trop argileux ou trop sableux se refuseront à toute autre culture productive que celle du roseau, et l'on aura supprimé d'un seul coup la meilleure exploitation du pays, une des plus rationnelles en Camargue! C'est l'*assèchement* qu'on poursuit, et non le *dessèchement*, contre lequel tout le monde proteste...

Les terres moyennes elles-mêmes n'ont pas grand intérêt à une irrigation bien abondante: elles ont déjà une tendance marécageuse qu'on ne ferait qu'exaspérer...

Et à quel prix devait-on acheter des avantages aussi contestables?

M. Bernard ne parlait dans son projet que des travaux d'intérêt général, dont la masse se montait déjà à 5,300,000 francs, et qui répartis,

sans défalcation de la subvention de l'État, donnaient déjà par hectare la somme de :

	1er GROUPE.	2e GROUPE.
Travaux du premier réseau	270f 00c	545f 00c
En ajoutant les intérêts perdus pendant les trois années, durée de ces travaux, et les trois années suivantes de mise en culture	81 00	163 50
Puis, les travaux particuliers, rigoles, colateurs de 2e et de 3e ordres, ponts, vannes, chemins, mise en culture, frais de dessalement, cheptel, etc.	500 00	500 00
Intérêts perdus pendant trois ans	75 00	75 00
On arrive au déboursé total de	926 00	et de 1283 50

Nous ne comptons même pas les pertes de fermages, qu'on pourrait bien *subir pendant* deux années au moins, et représentant ensemble plus d'un million ; il faudrait encore faire entrer en compte les indemnités de terrains pour canaux, rigoles, chemins, prenant 1/10e de la surface totale ; il faudrait prévoir encore les exigences des fermiers à longs baux, qui réclameraient certainement des indemnités...

Mais, sans évaluer tous ces frais accessoires, et en nous tenant à la dépense principale, qui sera en moyenne $\frac{926 + 1283}{2} = 1100$ francs, ou 900 francs seulement, en défalquant la subvention de 200 francs environ par hectare donnée par l'État (2,000,000 de francs pour 12,000 hectares), nous pouvons dire qu'il incomberait à chaque propriétaire une dépense de 900 francs par hectare ; comme il s'agit des terres moyennes ou basses, qui *valent* :

Terres vagues, en moyenne. . . . . . 350 francs l'hectare,
Marais, — . . . . 550 —

on obligerait donc les propriétaires à dépenser aujourd'hui une somme double ou triple en moyenne de la valeur primitive de leur terre ! Ne serait-ce pas quelque chose comme une dépossession véritable ? A-t-on réfléchi que beaucoup de ces propriétés appartiennent à des mineurs, à des *interdits* ou à des incapables ? qu'elles sont souvent hypothéquées, grevées de dettes ou d'impôts pour près de 50 pour 100 de leur revenu ? Pour les grands propriétaires, possesseurs souvent de plusieurs milliers d'hectares, cette dépense de 900 francs par hectare donne presque des millions à débourser ! Où trouveront-ils de pareils capitaux ? Mieux vaudrait pour eux abandonner leurs domaines. Peut-on espérer, par l'aliénation intégrale du revenu pendant de longues années, faire face à ces dépenses ? Le revenu net de l'île entière ne dépasse pas, nous l'avons dit, 600,000 fr. ; or il y aurait à dépenser :

Pour 12,000 hectares à arroser et assécher :

12,000 hect. × 900 fr. = 10,800,000 francs;

Pour les 25,000 hectares qui seraient asséchés seulement, il faudrait bien faire au moins 300 francs de dépenses par hectare,

Et pour 25,000 hectares. . . . . 7,500,000 francs.

Soit à débourser en totalité. . . . . . 18,300,000 francs.

Mais c'est l'aliénation totale du revenu pendant 30 années au moins, si cette période n'est pas encore augmentée de 4 ou 5 ans par la perte des fermages pendant la mise en culture elle-même!!

Voilà pour les déboursés et pour l'impossibilité matérielle de former le capital nécessaire.

Nous trouverions des empêchements bien plus grands, des résistances plus énergiques encore, dans la défiance des populations. Il leur est impossible de croire aux plus-values qu'on leur promet. Les propriétaires de Camargue savent trop bien, par leur expérience, par les essais qui ont été faits sous leurs yeux, que ces estimations sont absolument chimériques; nous dirons longuement, à propos du projet de M. Duval, ce que, sincèrement, rationnellement, ces plus-values peuvent être, et d'après les rendements, et d'après les valeurs acquises actuellement dans des conditions comparables. Les intéressés affirment qu'elles ne dépasseraient jamais la somme qu'il leur faudrait débourser, calculée plus haut, et ils se refusent énergiquement, en dehors même de la question de possibilité, à échanger, comme ils disent, de *bon argent* contre *de mauvais,* même à chiffre égal. Et, en toute conscience, il est impossible de leur donner tort!...

Personne n'a jamais suspecté la bonne foi et la conviction entières de M. Bernard, pas plus que celles de M. Poulle; mais la Camargue a toujours été la patrie des illusions, et, pour son propre malheur, elle a reçu le don fatal de fasciner les meilleurs esprits!...

Pour réagir et ramener les choses à leurs vrais termes, la Commission d'enquête, bien que formée de partisans très-dévoués de l'amélioration de la Camargue, dut s'élever contre ces calculs exorbitants et poser les données véritables du problème.

Pour défendre ses compatriotes de l'injuste accusation de routine et d'indifférence systématique souvent lancée contre eux, dans son rapport, elle rappelait que la population de la Camargue a toujours été vaillante, patiente et dévouée au progrès; elle n'a reculé devant aucun sacrifice pour résister aux fléaux conjurés contre elle, on en trouverait la preuve dans les travaux immenses exécutés par elle : 102 kilomètres de digues sur le Rhône faites et refaites, 48 roubines de 280 kilomètres de longueur, 19 canaux d'écoulage de 80 kilomètres, les norias, les fermes, tout ce capital immobilisé, réuni laborieusement, sans secours étranger, qui porte aujourd'hui la valeur de la Camargue à 20 millions...

Elle sait consentir, quand il le faut, aux plus énormes sacrifices, témoin les 137 centimes additionnels acceptés courageusement pendant les 20 années courantes, pour la seule consolidation des digues du Rhône.

Mais le projet Bernard lui demande trop! Il faut que l'État fasse de plus larges sacrifices et prenne à sa charge toute la dépense du projet, soit environ 5,000,000 de francs.

La part que supportera la population restera encore énorme, et, comme nous l'avons calculée tout à l'heure, presque égale à 13 millions, sans compter la construction nécessaire de 300 fermes, coûtant 25,000 francs au moins chacune, ou 7,500,000 francs, et encore le capital correspondant, à 5 pour 100, à la dépense annuelle d'entretien (160,000 francs), soit 3,200,000 francs.

Les propriétaires hésitent : c'est qu'en récapitulant ces dépenses, en ajoutant encore 1 million pour pertes de revenus, un autre pour le prix des terrains nécessaires aux travaux, ils trouvent un déboursé total de :

Subvention de l'État........................	5.300.000 fr.
Mise en culture............................	13.000.000
Fermes....................................	7.500.000
Capital d'entretien.........................	3.200.000
Indemnités et pertes.......................	2.000.000
Total............	31.000.000 fr.

laissant à leur charge plus de 25 millions, et cela, quand M. Surell n'estimait pas à plus de 25 millions la plus-value que pouvait supporter la Camargue, et que M. Bernard lui-même l'évalue à 33 ! Nous verrons plus loin qu'on doit compter même sur bien moins encore..... Ces estimations, fussent-elles exactes, peuvent-elles provoquer un bien vif enthousiasme? Personne ne l'a pensé, surtout en présence des mécomptes déjà si nombreux subis en Camargue.

Les exemples récents des demi-succès obtenus aux marais de Beaucaire, aux marais des Partisans, dans la vallée des Baux, et en Camargue, les insuccès complets de Paulet, du château Davignon, apportaient en ces matières des enseignements qu'il y aurait eu folie à oublier ou à méconnaître.

Dans la vallée des Baux, grâce au stimulant énergique mais coûteux de l'écobuage, on avait pu donner une certaine valeur aux terrains, valeur du reste très-variable avec la hauteur de la surface au-dessus du plan d'écoulage des eaux. Mais les espérances conçues à l'origine s'étaient *envolées* littéralement peu à peu, à mesure que la couche supérieure fertile, rendue plus légère par l'écobuage, diminuait chaque année, emportée par les vents.

Dans des conditions très-favorables, puisque tous les grands travaux étaient exécutés déjà pour d'autres objets, la Compagnie du canal de Beaucaire à Aiguesmortes a voulu, en 1864, profiter de son canal à grande

section pour faire des travaux d'asséchement et d'arrosage, et utiliser la différence de niveau obtenue à son écluse de Broussan. Partie de devis primitifs de 1,440,422 francs, elle arriva à dépenser 10,392,815 francs, et, avec les intérêts, 16,112,212 francs. Elle toucha la prime de desséchement; mais les résultats furent si précaires, qu'elle se vit obligée de convertir à nouveau une grande partie des terrains bas en marais roseliers, rapportant, suivant leur position, 100 francs, 40 francs, et quelquefois seulement 6 et 7 francs l'hectare; et les actions qui valaient, en 1846, 49,469 francs, oscillent aujourd'hui entre 3 et 4,000 francs !

Les terrains élevés à la cote 4^{m},00, ont seuls été conservés en prairies, qui donnent de 4 à 6,000 kilogrammes de foin très-grossier par hectare, valant de 4 à 6 francs les 100 kilogrammes : soit, tous frais déduits, 200 francs de revenu net en moyenne, dans des conditions bien plus favorables que celles de la Camargue, puisque toutes ces terres des environs de Beaucaire sont à peine salées.

Les terres du domaine de la Reïranglade, placées entre la tête du petit Rhône et le bief maritime du canal de Beaucaire, arrosées par le fleuve, asséchées à +0^{m},50 par le bief inférieur maritime du canal, représentent en réduction les conditions diverses des terres de la Camargue : les terres hautes non arrosées, mais asséchées, donnent des céréales; les terres moyennes, arrosées et asséchées, donnent les produits énoncés ci-dessus; les terres basses irriguées et s'écoulant sont des marais roseliers à bons revenus, à cause de leur position avantageuse près des vignobles du Gard. C'est un exemple qui reviendra souvent, parce qu'il marque nettement le but le plus profitable vers lequel puisse tendre l'œuvre de régénération de la Camargue, et la limite du succès à espérer; dans tous les cas, les résultats obtenus ne justifient nullement les évaluations excessives qu'on a rêvées dans les projets touchant la Camargue.

Les exemples malheureux de Paulet, du château Davignon, sont présents à toutes les mémoires, d'autant plus décourageants qu'il s'agissait là de cultures industrielles, les plus capables de supporter des frais considérables de toute nature.

Dans son projet, M. Bernard ne se préoccupe pas assez de la question du dessalement; il admet comme évident qu'il suffit de verser de l'eau sur une terre pour la dessaler; il s'appuie, avec une bonne foi entière, sur l'exemple des terres hautes des jardins potagers. Il n'y a pourtant dans ce fait rien de concluant, parce que là le problème est déjà à moitié résolu; ces terres élevées, s'écoulant sur les terres voisines, avec leur contexture plus poreuse, plus perméable, comme nous l'avons expliqué, sont dessalées par les pluies séculaires qu'elles ont reçues; elle sont protégées en outre contre les remontées du sel par la grande épaisseur qui les sépare de la nappe salée et par la moindre capillarité des vaisseaux : on ne saurait rien conclure de ce fait particulier pour le cas général des

terres moyennes plus compactes, plus basses, à éléments plus fins, qui forment les trois quarts de la surface de l'île.

La Commission d'enquête, qui était très-favorable à toute amélioration, ne se faisait pas illusion ; elle reconnaissait au projet de plus modestes avantages :

1° Pour les terres hautes, on trouvait le moyen de combattre l'humidité, d'assainir le sol, de le *dessaler peut-être par le drainage;* on pouvait espérer arriver à la suppression de la jachère bisannuelle et doubler les produits, ce qu'on devait demander surtout aux engrais ;

2° Pour les herbages, on estimait qu'il faudrait trois ans, peut-être six, pour les amener à un degré de dessalement convenable; qu'alors on obtiendrait en juin une coupe de fourrage médiocre, peut-être deux : ces terres auraient alors une valeur de 9 à 1200 francs. Quand le dessalement serait plus complet, à une époque qu'il était difficile de préciser, on pourrait passer à une culture plus avancée ;

3° Pour les marais, on pourrait les cultiver pour roseaux et litières, mais en maintenant leur niveau, en renouvelant l'eau et en ne les rendant pas plus malsains que les prairies.

Et, pour résumer ces déclarations importantes, il paraissait bien difficile de préciser ce qu'on devait gagner ; les produits seraient plus fins, les terres passeraient à la classe supérieure, et encore étaient-ce là des prévisions à longue échéance..... des bénéfices un peu contingents.

Voilà comment étaient obligés de conclure les commissaires de l'enquête, choisis parmi les hommes les plus intelligents du pays, les plus dévoués au progrès.

Ce qu'on peut distinguer pourtant au milieu de ces déclarations impartiales de la Commission, c'est une plus-value à échéance assignable, de 3 à 600 francs par hectare ; en appliquant cette donnée aux diverses classes de terrains de la Camargue, nous trouvons pour résultat d'ensemble, en arrondissant les chiffres :

			fr.
Terres cultes....................	15.000h	× 300 fr............. =	4.500.000
Terres vagues et pâturages......	19.600h	× 600 fr., environ...	12.000.000
Marais..........................	7.800h	14.500h × 300 fr. environ	4.500.000
Étangs dans les digues..........	6.700h		
Étangs dans les digues à l'industrie.	16.000h	23.000h × 0 fr....... =	0
Étangs hors des digues..........	7.000h		
Soit une surface totale d'environ	72.000h,	Total de la plus-value.	21.000.000

On trouve une plus-value totale d'au plus 21 millions, sur laquelle on peut compter raisonnablement.

C'est un chiffre qu'il faut retenir, et qui permettra de mesurer en quelque sorte la possibilité, la valeur pratique de tout projet d'amélio-

ration de la Camargue; il donnera en même temps la mesure de la part contributive qu'on doit demander à l'État, et des sacrifices qu'on peut mettre à la charge des particuliers, en laissant devant eux un certain bénéfice qui puisse les tenter, ou tout au moins les garantir contre les mécomptes ou les imprévus possibles.

Nous n'avons pas épuisé la série des objections opposées au projet de M. Bernard.

On l'a fort vivement encore attaqué, même au point de vue de l'amélioration sanitaire. Si l'on examine le fonctionnement du système proposé, on s'aperçoit qu'on ne peut, dans un grand nombre de cas, évacuer les eaux des grandes pluies et vider les bas-fonds et marais que dans le délai d'un mois : c'est le vice de cette idée de desséchement; mais, à mesure que les plages se découvriront, elle se dessécheront sur de plus grandes surfaces et dégageront des miasmes dangereux. D'un autre côté, le niveau du Valcarès oscille entre — 0m,50 et + 0m,45, en couvrant et découvrant ses plages sur des largeurs variant de 1,000 à 1,500 mètres ; ce sera certainement au plus grand détriment de la salubrité. Comme résultat sanitaire, on gagnera un foyer d'insalubrité considérable constant au Valcarès et toute une série de petits foyers épars, extrêmement dangereux à certaines époques.

Quant aux espérances de colonisation rapide que fait entrevoir le projet, il faut encore les accepter à corrections : le mouvement de retour vers les campagnes est loin d'être annoncé, et, en Camargue, il est plus éloigné que partout ailleurs ; on a des exemples désolants à citer à l'encontre : depuis trente ans que les marais de Beaucaire sont aménagés, rien ne s'y est construit; dans la vallée d'Arles, où les terres ont acquis une valeur de 3,600 francs l'hectare, trois ou quatre fermes à peine se sont fondées. Et pour désespérer de voir la réalisation *prochaine* des rêves que l'on fait sur la Camargue transformée, ne faut-il pas reconnaître que les populations assez denses de la Crau arrosable et des Alpines ont mis trois siècles à arroser, à régénérer, à garnir une surface bien moindre, bien plus hospitalière que la Camargue, quoiqu'elles fussent attirées là par la certitude de succès tout autrement rémunérateurs ! Là pourtant un hectare de terrain, valant primitivement 1,000 francs, sans risques d'insuccès, se transformait, par l'irrigation, en prairie valant 5,000 francs, avec une dépense maxima de 1,500 francs pour frais d'épierrage, de fumure et de semences.

Le problème est donc bien complexe en Camargue; beaucoup ne le soupçonnaient pas. Toutefois, si le projet de M. Bernard, malgré l'immense talent de son auteur, n'a eu aucune conséquence pratique, il garde du moins sa place marquée dans l'histoire de la Camargue ; il aura eu le mérite, en soulevant des discussions dignes de lui, de faire formuler nettement les exigences si diverses du problème, de faire déterminer exactement les conditions à remplir, et d'ouvrir la voie à une solu-

tion utile. Il méritait donc bien à ces titres le temps que nous lui avons consacré.

Il nous reste à examiner ce qu'on a tenté par la suite pour combler les lacunes que nous avons constatées.

PROJET BERNARD ET DUCOS. (Mai 1865.)

Tenant compte de certaines observations de la Commission d'enquête, M. Bernard remania son projet pour étendre le périmètre d'irrigation à l'étiage, pour mieux profiter des surélévations du Rhône, pour augmenter le cube d'eau fourni, et réaliser quelques améliorations pratiques.

A cette intention, un canal latéral au Rhône allait de Fourques à Chamone, en ménageant la pente qu'on réduisait à 0m,012 par kilomètre; ce canal pouvait débiter 18m³ à l'étiage, et 28m,50 à 0m,80 au-dessus; il était navigable et pouvait suppléer le Rhône. Un second canal se détachait du premier pour se diriger sur Sylvéréal, et débitait 5m³ à l'étiage et 8m³,50 à 0m,80 au-dessus.

Des canaux ou rigoles secondaires distribuaient les eaux à l'intérieur de ce réseau.

En plus, on conservait les six canaux d'écoulage de l'ancien projet, débouchant dans le Valcarès. M. Bernard proposait alors l'épuisement du Valcarès par moteurs hydrauliques, et maintenait son niveau à 1m,00 en contre-bas du niveau de la mer.

Les dépenses de ce nouveau projet se montaient à :

1re catégorie.		
Canal latéral au Rhône	7.800.000 fr.	9.200.000 fr.
Branche de Sylvéréal	1.400.000	
2e catégorie.		
Canaux d'amenée et de fuite des moteurs	1.600.000	3.100.000
Canaux d'écoulage	1.500.000	
3e catégorie.		
Canaux d'arrosage	700.000	700.000
Total		13.000.000 fr.

L'État devait prendre à sa charge la première catégorie des dépenses, soit	9.200.000 fr.
Le département, les canaux d'écoulage	300.000
Les particuliers gardaient	3.500.000
Total	13.000.000 fr.

Constatons que, par un progrès marqué, on fait intervenir l'État pour une large part, et que l'on utilise les 300,000 francs votés, en 1866, par le département; la part afférente aux particuliers sur les travaux d'ensemble est de 3,500,000 francs, représentant une distribution poussée plus loin et répartie sur un plus grand nombre d'intéressés.

Du reste, pour réunir ce contingent des particuliers, M. Ducos présentait une Compagnie qui devait faire l'avance des travaux; elle desséchait à raison de 7f,50 par hectare et par an, pour une concession de cinquante ans; les travaux duraient quatre ans, les trois années suivantes ne donnaient droit à aucune redevance. M. Ducos admettait qu'un hectare à dessécher, rendant à l'origine en moyenne 12f,50, et valant 250 francs, vaudrait au bout de quarante-trois ans 2,250 francs, rendant 100 francs dans les trente-sept dernières années; on partageait la plus-value.

Pour l'irrigation, la Compagnie percevait 35 francs par hectare pour l'irrigation, du 1er avril au 1er octobre, et 18 francs pour le reste de l'année, en donnant l'eau à raison de *un litre par seconde*. Ces combinaisons réalisaient bien des avantages et comblaient plusieurs lacunes; elles ne devaient cependant pas aboutir.

L'Administration supérieure a repoussé cet avant-projet, à cause du chiffre trop élevé de la dépense, et parce qu'elle contestait l'utilité de nouvelles voies navigables. D'autre part, les propriétaires n'avaient pas beaucoup d'enthousiasme : les charges d'asséchement et d'irrigation étaient fort lourdes; chacun avait encore à faire chez soi de grandes dépenses d'appropriation et de mise en valeur; puis, on se résout assez peu volontiers à laisser planer sur sa propriété, pendant cinquante ans, un règlement de plus-value; les majorations sont du reste difficiles à apprécier équitablement; l'exemple des difficultés survenues dans le voisinage pour la fixation de ces plus-values n'était pas fort encourageant... On ne voyait pas aussi bien nettement ces rendements de 100 francs par hectare et ces nouvelles valeurs acquises de 2,250 francs. On comprenait mieux ces engagements inéluctables de payer 7f,50 + 35f ou 42f,50 par an pendant quarante-trois ans; ces dépenses sont excessives, quand on les compare aux redevances d'irrigation de 23 francs sur le canal de la Crau d'Arles, de 20 francs sur celui de Langlade, de 8 francs sur le canal de Craponne, de 36 francs au maximum sur la branche mère du canal des Alpines, pour des prairies rendant brut jusqu'à 750 francs par hectare : pouvait-on, en Camargue, pour des revenus maxima de 100 francs (qu'on n'osait même pas espérer), consentir à de pareilles annuités de 42f,50 et même de 60f,50, avec l'irrigation d'hiver, sans parler des impôts et des charges antérieures?

Ce projet ne fut pas mieux accueilli que ses devanciers.

PROJET DE M. DUPONCHEL.

Avant de passer aux derniers projets d'ensemble, disons quelques mots de la solution qu'a proposée l'ingénieur en chef du service hydraulique de Montpellier, M. Duponchel. Cet ingénieur a publié de fort savantes études sur la situation géologique, hydraulique et agricole de nos pays du Midi (Gascogne, Languedoc et Provence); il a traité incidemment le problème du dessalement, comme on ne l'a jamais fait avant lui; il a mis en lumière les difficultés de ce problème, et nous aurons à revenir longuement sur ses idées et ses essais fort intéressants.

Il fait justice du système de colmatage proposé pour la Camargue : en répandant sur la surface de l'île les 21 millions de mètres cubes d'alluvions perdues dans la mer, on pourrait bien exhausser la surface de $0^{m},025$ par an; mais il faudrait d'immenses canaux à faible pente, et le premier résultat probable qu'on retirerait, serait le comblement constant de ces canaux : c'est le seul qu'on ait le plus souvent obtenu dans les essais de ce genre, quand on ne disposait pas de fortes pentes.

On peut bien, *théoriquement*, avec les plus faibles pentes, calculer des sections assez grandes pour assurer une vitesse moyenne qui ne laisse pas déposer les troubles; mais, en pratique, dans ces grandes sections, il est impossible de compter sur la vitesse à peu près égale de tous les filets liquides : aux coudes, vers les parois, sous l'influence retardatrice des herbes et des joncs, les vitesses notablement moindres engendrent des dépôts, qui, se propageant de proche en proche, finissent par obstruer plus ou moins complétement les canaux, si l'on ne s'y oppose par un entretien, un curage et un faucardement constants et laborieux.

Reconnaissant, avec une parfaite intelligence de la situation, l'immense difficulté qu'on rencontrera toujours à réunir dans un syndicat unique les intérêts, les ressources, les conditions si diverses des propriétaires de la Camargue, M. Duponchel propose des solutions partielles, morcelées, pour améliorer au moins sans retard les propriétés riveraines du fleuve.

Il prend les eaux d'arrosage au Rhône, et les écoule pour la Camargue dans le Valcarès, pour le Plan-du-Bourg dans le canal du Bouc ou dans la mer. Il propose l'emploi des machines par grandes propriétés isolées ou par petits syndicats de propriétaires d'une même zone, organisés comme pour les roubines actuelles.

Ce que nous retenons de son exposé, c'est cette déclaration fort importante sous la plume d'un homme qni a fait des essais sérieux de mise en culture, avec le concours financier de l'État, et en employant les moyens les plus efficaces qu'on puisse imaginer :

« Tant qu'un résultat de ce genre n'aura pas été obtenu, dit-il, tant « qu'il n'existera pas sur l'un des bras du Rhône une ou plusieurs « exploitations modèles, donnant le spécimen de ce qu'on pourrait en- « treprendre avec certitude de succès, il y aura folie, croyons-nous, à « vouloir établir à grands frais des canaux d'irrigation ou des machines « hydrauliques d'épuisement, loin des voies naturellement navigables; « ce n'est pas un travail d'ensemble, mais une exploitation restreinte « que nous voudrions voir essayer en Camargue. »

Dans cet ordre d'idées, il prend pour exemple la mise en exploitation d'un domaine de 400 hectares, situé, par exemple, près de Chamone; il propose une machine d'irrigation sur le Rhône, une machine d'épuisement rejetant l'eau, s'il est besoin, dans le Valcarès, et l'établissement d'un drainage général établi à 1 mètre de profondeur et à 10 mètres d'écartement.

D'après ses calculs, le terrain préparé pour la culture, au bout de trois ans, revient à 2,000 francs l'hectare; il en estime la valeur à 5,000 francs: nous n'avons pas besoin de dire que ce chiffre est exorbitant, quand, dans des conditions singulièrement plus avantageuses, moins grevées de charges annuelles, les prairies aux portes d'Arles sont loin d'atteindre une pareille valeur.

Dans tous les cas, cette idée des solutions morcelées, quelque critiquable qu'elle soit au point de vue des frais généraux, mérite d'être retenue: remaniée, elle donnera peut-être la seule solution possible, féconde, progressive de ce problème si complexe de l'amélioration de la Camargue.

PROJET DE LA SOCIÉTÉ HENRY MERLE ET Cie (février 1866).

La Société H. Merle et Cie, propriétaire du Valcarès et des étangs inférieurs, a présenté, en février 1866, un projet qui peut être considéré comme une réduction à petite échelle du projet de M. Bernard (1865). Il proposait d'abaisser le plan d'eau du Valcarès, de transformer celui-ci en marais roseliers, d'améliorer les écoulages qui se déversent dans cet étang et de créer des pêcheries dans les étangs inférieurs.

A cet effet, un canal devait prendre l'eau du Rhône, près de la grande Montlong, et la conduire au Valcarès, en créant une chute suffisante pour actionner des moteurs hydrauliques chargés de l'épuisement de ce grand étang.

La dépense de premier établissement pour le canal et les machines devait se monter à 1,100,000 francs et être supportée par l'État; la Compagnie se chargeait de l'entretien, en se réservant de pouvoir distri-

buer l'eau aux propriétaires riverains, moyennant une redevance annuelle fixée.

Pour donner à ce projet un caractère plus marqué d'intérêt général et motiver la subvention, on invita la Société à reporter sa prise plus en amont, sur le petit Rhône, et à diriger sur le centre de l'île le canal d'amenée; on devait réaliser ainsi un commencement d'amélioration de la Camargue : la dépense devait alors se monter à 2 millions de francs, et les ingénieurs proposaient d'en retenir les 4/5 à la charge de l'État, et de laisser le surplus à la Société Henry Merle, avec l'entretien.

On a demandé une étude et des propositions plus complètes; mais l'Administration prévoit déjà que ses crédits affectés à l'amélioration agricole étant fort limités, elle ne pourra prendre à sa charge une dépense bien considérable; d'un autre côté, les propriétés de la Camargue sont si lourdement grevées qu'elles ne pourront apporter un concours bien sérieux : pour ce petit projet, il resterait donc à recourir largement aux ressources départementales, mais elle sont elles-mêmes pleinement engagées pour plus de dix ans encore.

PROJET DE M. CAUCANAS.

M. Caucanas a proposé une prise d'eau de 15^{m3} sur la rive gauche du Rhône, au confluent de la Durance, pour arroser les terres entre cette prise et Arles, et ensuite la Camargue.

Le canal serait établi sur la rive gauche, parallèle au Rhône, avec cuvette maçonnée en relief sur le sol, sur 30,400 mètres; puis il franchirait le Rhône par un siphon métallique et déboucherait à la Tête de la Camargue, d'où il se ramifierait pour porter l'eau aux diverses parties de l'île. La dépense serait de 5 millions de francs, au dire de l'auteur. Elle serait en réalité manifestement supérieure, et encore ne s'occupe-t-on nullement de l'écoulement des colatures et des eaux de fuite; les moyens proposés pour l'établissement du siphon sont inadmissibles; les terres en amont d'Arles sont arrosées déjà, etc.

M. Caucanas fixe la redevance à 40 francs pour l'été, 10 francs pour l'hiver, soit en tout 50 francs, prix beaucoup trop élevé pour la Camargue.

Ce projet incomplet a été renvoyé à son auteur.

PROJET DE M. TAVERNEL.

M. Tavernel a présenté un projet pour la construction d'un canal, dit du bas Rhône, destiné à arroser et à colmater les terres de la Camargue, ainsi que la rive droite du petit Rhône entre Beaucaire et la mer.

On prendrait 15 mètres à l'étiage en aval de Beaucaire; à 17 kilomètres de la prise, le canal se bifurquerait pour porter 5 mètres sur la rive droite du petit Rhône, et, par un siphon immergé en face de Caseneuve, transporter 10^{ms} en Camargue, et les distribuer par quatre branches.

C'est la reproduction du projet de M. Poulle de 1837. L'estimation de la dépense est de 2 millions de francs; mais les évaluations sont trop faibles, les évacuations et écoulages sont laissés en dehors, les colatures envahiraient les marais.

Quant au colmatage, on connaît les résultats à en attendre, avec les très-faibles pentes; on ne réussirait probablement qu'à combler les canaux, et l'eau qui en sortirait serait parfaitement limpide.

PROJETS DE M. DUVAL.

Nous arrivons au dernier projet présenté pour la Camargue, et au premier projet spécial au Plan-du-Bourg : ce sont ceux de M. Duval, ingénieur des ponts et chaussées, projets que nous allons examiner successivement.

1° *Projet de la Camargue* (mai 1868). — Dans son exposé de la situation de la Camargue, M. Duval lui attribue une superficie de 72,000 hectares, un rendement brut moyen de 15 francs par hectare, net de 10 francs.

Il donne comme les seules causes de sa détresse : la salure du sol, l'inondation et la sécheresse; en remédiant à ces trois maux, il compte lui rendre une situation prospère...

Il proclame hautement ce principe : que, pour réussir, l'amélioration doit être entreprise avec ensemble; toute tentative isolée lui semble fatalement condamnée d'avance. C'est par cette raison seule qu'il explique l'insuccès des projets précédents, et aussi parce qu'on ne faisait pas connaître totalement l'étendue des sacrifices et des déboursés à faire; il veut éviter cet écueil.

I. Camargue. — M. Duval divise son étude en trois parties : desséchement, irrigation, voies de communication.

1° *Desséchement.* — Sur les 72,000 hectares de l'île, il laisse en dehors

les étangs saliniers et les terrains au delà de la digue à la mer, et n'envisage que les 60,000 hectares restants. Il se sert naturellement du Valcarès comme collecteur général, qu'il maintient au niveau de — 1m.00 à l'aide de machines à vapeur d'épuisement, à l'exclusion des machines hydrauliques.

En supposant que le *tiers* des eaux de pluie coule à la surface, et que les pluies maxima donnent 0m,075 de hauteur, il compte sur un cube maximum de 15 millions de mètres à enlever dans un délai de 4 jours, soit 43 mètres cubes par seconde. En moyenne, l'épuisement annuel sera de 180,000,000 de mètres cubes.

Les eaux sont amenées au Valcarès et aux machines par un grand *collecteur* principal, traversant la Camargue du nord au sud, et par 9 collecteurs secondaires desservant 9 bassins asséchés eux-mêmes par un réseau de troisième ordre; l'ensemble de ces canaux a une longueur de 275 kilomètres; la vitesse de l'eau varie de 0m,35 à 0m,40.

On fera du Valcarès un marais roselier.

Les *machines élévatoires* pour enlever l'eau de — 1m,20 à + 0m,75 devront disposer d'une force de 650 chevaux, et même de 900 chevaux pour parer aux chômages journaliers.

Nous n'entrerons pas dans les détails fort minutieux de cette étude; nous en viserons seulement les traits principaux.

Les *dépenses du premier établissement* se monteront à :

Indemnités de terrains	620.000 fr.	10.000.000 fr.
Terrassements	5.700.000	
Travaux d'art	880.000	
Machines élévatoires	2.500.000	
Imprévu	300,000	
Frais généraux, études, administration, intérêts perdus		2.500.000
Total		12.500.000 fr.

Les *dépenses annuelles d'entretien* exigeront :

1° *Canaux.*		
Intérêts du capital. Canaux	570.000 fr.	767.000 fr.
Amortissement en 50 ans	43.000	
Entretien, repurgement	128.000	
Surveillance	26.000	
2° *Machines.*		
Intérêts (machines élévatoires)	180.000	415.000
Amortissement des bâtiments	1.600	
Consommation de charbon	136.500	
Graissage et éclairage	22.800	
Entretien des bâtiments	8.000	
Entretien et amortissement des machines	39.600	
Personnel	26.500	
3° Frais généraux (10 pour 100)		118.000
Total		1.300.000 fr.

2° *Irrigation.* — M. Duval croit que le desséchement seul ne serait pas favorablement accueilli, et qu'il faut en outre arroser la Camargue; l'irrigation artificielle par machine serait trop coûteuse; il ne faut songer qu'à l'irrigation naturelle, en donnant un litre par seconde et par hectare.

L'irrigation se fera en moyenne à la cote + 2 mètres, et s'appliquera à 39,000 hectares; il faut, pour cela, disposer de 35 mètrès cubes, en comprenant les pertes.

L'irrigation sera faite par une prise unique et un premier canal qui se divisera ensuite en trois branches navigables, et par un réseau de canaux de deuxième et troisième ordres; il propose encore un canal transversal navigable allant de la Tour-Saint-Louis à Sylvéréal, à travers le Valcarès. La longueur totale de ces canaux est de 284,425 mètres; la largeur des grands canaux est de 10 mètres, sauf pour la branche de droite, où elle n'est que de 5 mètres; l'eau coulera avec une vitesse moyenne de $0^m,45$; on distribuera de l'eau en hiver pour les usages domestiques.

Les *dépenses de premier établissement* se monterontà :

Indemnités de terrains	1.700.000 fr.	17.500.000 fr.
Terrassements	9.000.000	
Travaux d'art	2.700.000	
Somme à valoir	1.600.000	
Frais généraux	2.500.000	

Et pour les *dépenses annuelles d'entretien*, on aura :

Intérêts du capital	1.050.000 fr.	soit 1.700.000 fr.
Amortissement	78.700	
Entretien, curage	240.000	
Faucardement	125.200	
Surveillance	42.000	
Administration	164.000	

3° *Voies de communication.* — Les chemins ruraux sont actuellement impraticables en Camargue.

Il faut établir de bonnes voies de communications, reliant les points principaux, en passant par les points secondaires.

On utilisera les grands canaux d'irrigation pour en faire des *voies de navigation intérieure.* Ces canaux ont 10 mètres de largeur, 2^m25 de tirant d'eau normal, $3^m,75$ au maximum.

On établira des écluses aux trois points de jonction avec le Rhône, et des portes aux points de croisement; les francs bords serviront en même temps de routes.

Les *dépenses spéciales de premier établissement*, pour écluses, portes, chemins de halage, etc., se monteront à. . . . . 620,000 francs.
Les frais généraux à 20 pour 100. 120,000

Soit. . . . . . 740,000 francs.

Les *dépenses annuelles d'entretien* seront de. . . . . 72,000 francs.

Routes agricoles. — M. Duval projette la création de six routes agricoles :

1° Route d'Arles à Saint-Louis (R. D.), par Trémoule..	43k,900m
2° Route d'Arles à Saint-Gilles......................	12 ,100
3° Route d'Arles aux Saintes-Maries..................	28 ,700
4° Route d'Arles aux Saintes-Maries, par le centre.....	25 ,200
5° Route de Saint-Louis (R. D.) à Sylvéréal...........	31 ,100
6° Route de Chassagnette............................	7 ,000
Total..............	148k,300m

Leur largeur sera de 8 mètres, avec 3 mètres de chaussée empierrée sur 0m,20 d'épaisseur ; elles suivront les canaux d'arrosage.

La *dépense de premier établissement* sera de :

Empierrements, plantations..........	1,050,000 fr.	1,260,000 fr.
Frais généraux......................	210,000	

Les *frais annuels d'entretien* se monteront à 163,000 francs.

Ce réseau sera complété par des chemins ruraux, qu'on devra laisser à la charge des intéressés.

4° *Résultat financier. Voies et moyens.* — En récapitulant toutes ces dépenses, on trouve :

Dépenses de premier établissement.

1° Desséchement.		
Canaux..............................	8,000,000 fr.	12,500,000 fr.
Machines............................	2,500,000	
Frais généraux......................	2,000,000	
2° Irrigation.		
Canaux..............................	15,000,000	17,500,000
Frais généraux......................	2,500,000	
3° Voies de Communication.		
Canaux..............................	740,000	2,000,000
Routes..............................	1,260,000	
Total du projet..........		32,000,000 fr.

Cette dépense s'applique à 60,000 hectares, moins 6,000 hectares non utilisés, soit à 54,000 hectares : ce qui fait ressortir à 592 francs par hectare la dépense totale, se subdivisant en 231 francs pour le desséchement, 324 francs pour l'irrigation, 37 francs pour les routes.

Quant aux *dépenses annuelles*, elles sont de :

DÉSIGNATION.	INTÉRÊTS et AMORTISSEMENT	ENTRETIEN et RÉPARATIONS.	FRAIS GÉNÉRAUX.	TOTAUX.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Desséchement..........	794,600	387,400	118,000	1,300,000
Irrigation.............	1,128,700	407,300	164,000	1,700,000
Voies de communication...	129,000	85,000	21,000	235,000
Total.........	2,052,300	879,700	303,000	3,235,000
		1,182,700 fr.		

Par hectare, la dépense annuelle est de 21f,90, en ne comptant pas l'intérêt ni l'amortissement; cette dépense représente un capital de 440 francs.

Il reste en dehors de ces travaux beaucoup d'autres travaux à faire par les propriétaires : bâtiments, clôtures, chemins ruraux, mise en exploitation. M. Duval estime ces frais à 480 francs par hectare; de cette façon le prix de l'hectare reviendrait à :

Valeur actuelle du sol..............................	300 fr.
Travaux d'ensemble..................................	592
Capital des frais d'entretien.........................	440
Mise en valeur.......................................	480
Nouvelle valeur du sol..................	1812

Calcul des plus-values. — M. Duval estime que les bonnes terres non arrosées rendent 50 francs en Camargue, et valent par conséquent 1,200 francs.

Par l'arrosage, le rendement augmentera de 120 francs : le revenu sera donc de 180 francs, et la terre vaudra 3,600 francs; soit pour 54,000 hectares, moins 15,000 hectares, ou 39,000 hectares, une majoration de 93,600,000 francs.

Les terres irrégulièrement arrosées, ou 15,000 hectares, ne rendront que 90 francs et vaudront 1,800 francs, et leur plus-value sera de 1,800 — 1,200 = 600 francs, et pour 15,000 hectares : 9 millions de francs, et en totalité, pour la Camargue entière, une plus-value de 102 *millions* 600 *mille francs*.

M. Duval est forcé de reconnaître que les propriétaires auront à dépenser 26 millions de mise en culture, en 30 ans par exemple, soit près

de 900,000 francs par an; pendant les 14 premières années, ils perdront, dépensant plus qu'ils ne gagneront.

Quant aux 32 millions de travaux généraux, M. Duval admet que l'État seul peut faire face à cette dépense.

Pour l'entretien, une Compagnie devra se charger de ce soin, avec une concession de 50 ans et le droit de vendre l'eau aux propriétaires à raison de 35 francs par hectare; mais comme, pendant les 21 premières années, elle ne fera pas ses frais, l'État devra lui compter comme subvention une somme de 5,071,000 francs, représentant cette perte: il restera pour cette Compagnie un bénéfice de 262,600 francs par an pendant les vingt dernières années.

Discussion. — Ce projet est, dans son ensemble, au point de vue théorique, le plus complétement étudié de tous ceux qui ont été présentés; on y rencontre des solutions fort ingénieuses; toutes les dépenses sont minutieusement calculées; à peine pourrait-on signaler quelques oublis insignifiants, comme pertes de revenus, etc. On a abordé là franchement la difficulté financière, et les propriétaires ne pourront certainement pas se plaindre qu'on ait cherché à leur dissimuler l'étendue des sacrifices qu'ils auront à consentir.

Nous avouerons même qu'on a singulièrement dépassé le but, et *surmené* le problème; dans la perspective de plus-values trop largement escomptées, on a cru pouvoir se permettre partout les solutions les plus radicales, les plus extrêmes, qui créent un passif de 38 millions au compte de l'État, de 26 au compte des particuliers, soit en tout près de 64 *millions*.

On a ainsi *découvert* le projet, qui tombera sous les premiers coups; et, en vérité, s'il faut nécessairement jeter 64 millions en Camargue pour en faire quelque chose, n'a-t-on pas prononcé sur elle une condamnation sans appel?...

Que la plus-value soit de 21 *millions*, comme l'estiment les hommes les plus compétents; qu'elle soit même de 44 *millions*, comme le pensait M. Poulle, de 53 même, comme l'a estimée au plus haut M. Bernard (car la dernière estimation de 103 *millions* produite par M. Duval ne soutient pas un seul moment l'examen), n'y aurait-il pas folie à dépenser 64 *millions* pour ce beau résultat? Qui admettra jamais un pareil gaspillage de la fortune publique?

Nous essayerons plus tard de montrer qu'on peut faire plus modestement quelque chose d'utile. En attendant, comme le projet de M. Duval mérite mieux que cette exécution sommaire, nous allons le discuter et le critiquer plus longuement, pour rendre hommage au travail consciencieux et à la conviction de son auteur.

Les questions de dessalement, de constitution géologique agricole de la Camargue, n'ont pas été examinées; elles méritaient de l'être.

M. Duval pose en principe que, sans un ensemble parfait, on ne fera jamais rien en Camargue; il faut évidemment recommander un plan d'ensemble qui permette à un moment donné de coordonner tous les efforts et de diminuer les frais généraux. Sur ce point, l'accord finira par se faire, parce qu'il n'y a pas deux solutions au problème; et ce qui le montre bien, c'est que tous les projets proposés, sauf quelques variantes dans les détails, retournent toujours à la même solution, proposée dès le premier projet de M. Poulle.

Mais, dans l'exécution, en présence d'une collectivité aussi grande d'intérêts, de ressources, il faut supposer de l'hésitation, des retards, bref une réalisation successive et morcelée. M. Duval est bien réduit à l'accepter, à admettre une période, encore trop courte, de trente années, quand ce seront seulement les efforts successifs des siècles qui pourront rendre la solution générale et définitive! Vouloir, avant de rien entreprendre, le concert unanime des intéressés, c'est faire prononcer *la question préalable* sur toute proposition d'amélioration.

Il est une grave erreur dans laquelle le projet est tombé : c'est de chercher à faire du *desséchement*, au lieu de l'*asséchement* qu'on demande *seul*. Nous avons démontré qu'il faut en effet encourager, assainir, mais non ruiner l'exploitation des marais roseliers en Camargue, qui, sans main-d'œuvre, peuvent donner des revenus moyens de 75 francs par hectare, quand les terres à blé ne donnent qu'une année sur deux un produit de 100 à 120 francs par hectare.

M. Duval propose un assolement décennal dont la culture du riz serait la base; il faudra compter d'abord avec les hauteurs respectives des terres au-dessus de l'eau, avec la constitution plus ou moins argileuse ou sableuse de la couche arable, avec son voisinage de la nappe salée, etc. La culture du riz, qui exige beaucoup de bras pour le sarclage et l'enlèvement des mauvaises herbes, convient bien moins à la Camargue que celle des roseaux : pour labourer et moissonner, il faut mettre les rizières à sec, ce qui peut n'être pas nécessaire pour le roseau. Et puis, franchement, on ne peut préconiser, pour l'assainissement de l'île, un assolement qui entretiendra toujours les 3 ou 4 dixièmes de la surface en marais insalubres. Quant aux cultures complémentaires, blé, luzerne, maïs, lin, etc., elles n'ont pas besoin de beaucoup d'arrosage, exigent beaucoup de fumier, dont l'île, dans ce système, restera toujours très-pauvre. D'après les expériences acquises, avec ces cultures peu arrosées, le sel n'attendra pas sept années pour reparaître, il faudra revenir à la rizière au bout de 3 ou 4 ans, et alors la situation sanitaire empirera...

M. Duval laisse en dehors de l'irrigation, comme tous les projets précédents, 15,000 hectares de terres hautes, qui en ont cependant le plus grand besoin. Mais, par une erreur singulière, il les fait participer aux charges de l'irrigation. Dans les projets précédents, où les pentes

étaient plus ménagées, en comptant moins sur les surélévations accidentelles du Rhône au-dessus de l'étiage, on ne trouvait guère le moyen d'irriguer que des surfaces variant de 12 à 18,000 hectares; le chiffre de 39,000 hectares que M. Duval compte pouvoir atteindre par ses arrosages nous étonne beaucoup! Il y comprend sans doute les cuvettes des marais qu'il veut dessécher, mais qui n'ont aucun intérêt à l'être; il faudra au contraire assurer leur submersion, qu'on entretiendra en partie avec les colatures supérieures, et, dans tous les cas, avec un faible volume d'eau d'irrigation. La surface des terres qui peuvent avoir un véritable intérêt à l'arrosage direct et supporter les frais de canalisation, ne doit pas dépasser 20,000 hectares. Mais prenons les bases de M. Duval, soit 15,000 hectares de terres non arrosées ou hautes, et 39,000 hectares arrosés.

Au lieu de répartir la dépense totale sur 54,000 hectares, il faut répartir, sur tous, les frais de desséchement et de routes, et sur 39,000 hectares seulement les frais d'arrosage; nous trouverons alors :

PAR HECTARE.	TERRES ARROSÉES. (39,000 hectares)	TERRES NON ARROSÉES. (15,000 hectares)
Frais de premier établissement. (Desséchement et routes).	276f	276f
Frais d'irrigation.............	449	»
Capital d'entretien annuel..... (Desséchement et routes).	226 (pour 11f 30)	226 (pour 11f 30)
Capital d'irrigation..........	293 (pour 14 65)	»
Mise en culture..............	480	330 (moins rigoles d'arrosage).
Soit......	1724 et	832

Ce qui donnerait pour les terres arrosées, qui sont les terres basses actuelles d'une valeur moyenne de 300 fr., le prix de revient total de $1,724 + 300 = 2,024$ francs, sans compter les pertes de 4 ou 5 ans de fermages, dont M. Duval ne parle pas.

Et, pour les terres hautes d'une valeur actuelle d'environ 1,000 à 1,200 fr., un prix de revient de 1,800 à 2,000 francs.

Voyons quelle valeur vénale M. Duval leur attribue.

Au lieu de calculer des plus-values directes, comme l'ont fait MM. *Poulle*, Surell, Bernard, M. Duval croit plus sûr de prendre pour base le nouveau revenu, ce qui est bien plus incertain encore...

Sans l'expliquer en aucune façon, il pose d'abord en principe que toutes ces terres, rendant actuellement 10 francs de revenu, acquerront par la seule grâce du desséchement un revenu général de 60 francs, qui est celui des bonnes terres de Camargue: cela aurait eu le plus grand besoin d'être démontré! Puis, partant des indications de M. Nadault de Buffon, qui donne comme moyenne des plus-values de rendement dues à l'irrigation le chiffre de 170 francs par hectare, M. Duval se contente de la somme de

120 francs pour le supplément de revenu donné aux terres arrosées. De même qu'on ne peut nullement attribuer aux terres salées et *sansouïreuses* un revenu de 60 francs en moyenne, comme aux bonnes terres hautes de Camargue; de même on ne peut appliquer la moyenne générale, observée sur un très-grand nombre de cas, aux conditions le plus ingrates possible, comme celles qu'on trouve en Camargue : si l'irrigation rend 170 francs par hectare en moyenne générale, comme dans la Crau, elle rend de 5 à 600 francs, ailleurs elle rend forcément beaucoup moins, pour rétablir l'équilibre et la moyenne; et, malheureusement, la Camargue apporte une déplorable compensation!

Quoi qu'il en soit, M. Duval parvient ainsi à faire ressortir à 60 francs le rendement des terres non arrosées, à 180 francs celui des terres arrosées, à 90 francs celui des terres irrégulièrement arrosées : il en conclut que les terres correspondantes vaudront 1,200, 3,600 et 1,800 francs respectivement.

Si nous descendons du domaine de la pure hypothèse dans celui de la réalité, nous rencontrerons à cet endroit de singuliers mécomptes.

Les terres à blé rendent en Camargue de 60 à 100 francs; cultivées en luzerne, elles peuvent rendre davantage, mais cette culture est nécessairement restreinte à cause du capital énorme qu'elle absorbe en main-d'œuvre, en engrais et en semences. Les meilleures terres à blé valent 2,000 francs dans les ségonnaux en Camargue (quelquefois 3,000 francs, mais aux portes d'Arles), ordinairement 1,200 francs en moyenne; elles gagneront peu à l'asséchement, comme le déclarait la Commission d'enquête, et, à coup sûr, beaucoup moins que leur quote-part de 830 francs dans le projet de M. Duval.

Quant aux terres arrosées (terres moyennes et basses), elles rendront moins encore qu'à la Reïranglade, aux plaines du Partisan, à Beaucaire, parce qu'elles sont à un niveau plus bas; et, suivant leur altitude, elles donneront 2 à 5,000 kilogrammes de foin très-médiocre, valant 4 ou 5 fr., soit, défalcation faite des frais de coupe, d'arrosage, 75 à 175 francs, sans les impôts, soit 125 francs en moyenne; en fumant, on obtiendrait peut-être plus, mais nous verrons que la Camargue n'est pas près d'avoir assez de fumiers pour en donner assez aux terres hautes et la moindre quantité aux terres médiocres ou basses.

Les marais et étangs, transformés en marais roseliers et non desséchés, ce qui serait leur ruine, pourront, avec de bonnes voies de transport, rendre en moyenne 60 francs (entre 20 et 100 fr.).

Tous ces rendements, que nous exagérons même certainement, représentent des valeurs comprises entre 1,200 à 2,500 fr., ou de 1,600 à 1,800 francs en moyenne, soit des plus-values de 800 à 1,000 francs au maximum, dans l'ensemble, sur la valeur vénale moyenne actuelle. Et l'on pourrait songer à dépenser pour cela jusqu'à 1,725 francs par hectare !

Qui consentirait jamais à une pareille folie?

Mais il n'est même pas besoin de recourir à ces considérations, pour condamner le projet de M. Duval : il renferme en lui-même tous les éléments de sa propre ruine.

Pour un bénéfice avoué de 35 millions, il demande

A l'État : d'une part.	32	millions.
Et d'une autre, environ	6	»
Aux particuliers.	26	»

et, en plus, le concours d'une Compagnie, soit en tout 64 millions.

Qui pense-t-il donc tenter ?

L'État ?

Qu'y gagnera-t-il ? Le revenu de l'impôt foncier n'augmentera pas. On appellera, dit-on, 10,000 hommes en Camargue ; mais ils payent l'impôt tout aussi bien ailleurs, et, en supposant même qu'ils donnassent au taux moyen (pour toute la France, y compris même l'impôt foncier déjà payé) 55 francs par tête, soit 550,000 francs, il faudrait pour cela inscrire 2 millions de plus au service de la Dette publique ! L'intérêt des 3,500 habitants de l'île exige-t-il de pareils sacrifices ? Non : car, à ce compte, on pourrait dire que l'État ferait une bien meilleure opération en rachetant l'île au prix maximum de 20 millions de son estimation actuelle, et en en renvoyant les habitants !

Les propriétaires ? Dans leur conviction, les 26 millions à débourser représentent bien au delà la plus value qu'ils donneront à leurs terres : peuvent-ils pour cela consacrer plus que leur revenu pendant 14 ans, comme le compte M. Duval, pendant beaucoup plus de temps encore, comme on pourrait la recalculer après lui ?

Une Compagnie ? Où la trouvera-t-on, avec l'appât de quelques bénéfices à *encaisser* seulement au bout de 21 ans ? Pourrait-on réunir aujourd'hui un capital de 1,000 francs seulement avec l'unique perspective de bénéfices à cette échéance, quels qu'ils fussent ? Il faudra plusieurs millions dans la caisse de cette Compagnie pour faire face à tous les mécomptes et à tous les imprévus ; et le bénéfice sera de 265,000 francs par an, pendant vingt ans, à partir de la vingt et unième année !...

Non, malgré une valeur théorique incontestable, c'est là un projet mort-né, dont l'unique résultat pratique, si ses exigences étaient inéluctables, serait de porter à la Camargue un coup funeste, dont elle ne se relèverait plus...

PROJET DU PLAN-DU-BOURG (15 décembre 1867).

A l'endroit du Plan-du-Bourg, M. Duval s'appuie naturellement sur les mêmes idées que pour la Camargue. Les moyens d'exécution varient seuls.

Il s'occupe seulement du grand Plan-du-Bourg, compris entre le Rhône, le canal de Bouc, depuis la borne kilométrique 298, vers les Antorches, et la mer. Cette partie contient 11,300 hectares. On excepte du projet les étangs de la Roque et du Galéjon, qui font partie d'un projet spécial aux marais de Fos; la partie en dehors de la digue à la mer, 1,200 hectares, et l'île au sud du canal Saint-Louis, 500 hectares : il reste donc 9,600 hectares. On ne peut employer pour collecteur général le Gloria, à l'exemple du Valcarès, parce qu'il n'offre ni en étendue ni en profondeur un récipient suffisant; il faudra employer des moyens mécaniques plus énergiques pour épuiser et évacuer les eaux. Après une pluie maxima de $0^m,075$ de hauteur, dont un tiers coulera à la surface, on aura à enlever 7^{m3} par seconde pour assécher le bassin en 4 jours. Pour l'année la plus pluvieuse (1853), qui a donné à Orange $1^m,376$, et dans le seul mois d'octobre $0^m,326$, soit dans l'année 10,432,000 mètres, les machines seront parfaitement capables de faire l'épuisement.

1° *Desséchement.* — Un grand collecteur vient de la Baisse-Salade aboutir aux machines d'évacuation vers le They de Brûle-Tabac; il reçoit un collecteur secondaire à gauche, venant de Goule-Vieille et suivant le canal de Bouc, 5 collecteurs à droite; puis un réseau de troisième ordre à la charge des propriétaires. Ces canaux débiteront $0^{m3}723$ par 1,000 hectares; la vitesse de l'eau varie de $0^m,30$ à $0^m,45$, la pente varie de $0^m,10$ à 0^m08 par kilomètre, et la largeur au plafond de $1^m,30$ à 3 mètres. Le niveau d'épuisement des machines est à -0^m50; l'eau sera élevée en moyenne à $+0^m,65$: ce qui exigera une force disponible de 110 chevaux, et même de 160 chevaux pour faire face aux chômages.

Les dépenses de premier établissemet se monteront à :

Dépenses de premier établissement :

Canaux.

Indemnités de terrains	110,000 fr.	1,110,000 fr.
Terrassements	690,000	
Travaux d'art	310,000	
Machines élévatoires et bâtiments		460,000
Sommes à valoir		155,000
Frais généraux, études, direction		285,000
Total		2,010,000 fr.

Dépenses annuelles :

Canaux.

Intérêts	84,660 fr.	114,510 fr.
Amortissement	6,450	
Entretien et réparations	19,400	
Surveillance	4,000	

Report. . . . . 114,510 fr.

Machines élévatoires.

Intérêts................................	35,940	78,375
Amortissement...........................	8,325	
Consommation de charbon.................	9,450	
Graissage et éclairage..................	1,600	
Entretien...............................	2,000	
Personnel...............................	10,500	
Frais généraux..........................	10,560	
Total..............		192,885 fr.

ce qui représente par hectare une dépense première de 251 francs, et une dépense annuelle de 23 fr. 87 c., correspondant à un capital de 477 fr. 40 c.

2° *Digue à la mer.* — Il est indispensable de fermer le bassin et de le soustraire aux invasions du Rhône et de la mer[1]. La chaussée du Rhône est inachevée sur 5 kilomètres en amont de la Tour-Saint-Louis ; l'État est intéressé, pour ses travaux du canal, à combler au plus tôt cette lacune.

Il faudra, pour s'opposer aux inondations de la mer, fermer l'espace ouvert entre les canaux de Saint-Louis et de Bouc. Cette digue aura son couronnement à la cote 2 mètres, et une largeur de $1^m,50$ en couronne. La dépense totale occasionnée par ce travail sera :

Pour le premier établissement :

Indemnités de terrains....................	4,000 fr.	75,000 fr.
Terrassements.............................	25,200	
Consolidations............................	28,500	
Imprévu...................................	5,300	
Frais généraux............................	12,000	

Et pour l'*Entretien annuel*. 7500f,

sommes qui, réparties, donnent par hectare. . . . . . . $9^f,37$, et $0^f,94$,
cette dernière somme représentée par un capital de. . . $18^f,80$.

3° *Irrigation.* — M. Duval rappelle qu'après la culture du riz le terrain est dessalé, et que les végétaux croissent avec une exubérance merveilleuse : il cite les exemples de l'Eysselle, du château Davignon (??).

Pour irriguer le Plan-du-Bourg, on ne peut songer à faire une dérivation du Rhône, parce que la pente du fleuve est au plus égale à celle qu'il faudrait donner aux canaux. Il faut recourir à l'emploi des machines.

1. Ce travail est fait aujourd'hui, dans des conditions de solidité beaucoup moindre que ne le demandait avec raison M. Duval.

M. Duval suppose une période d'irrigation de cinq mois, du 15 avril au 15 septembre.

Il propose de développer la culture du riz, qui exige un arrosage de deux litres par seconde. On adoptera un assolement décennal : riz, 3 ans; céréales, 1 an; prairies, 4 ans; lin, millet, maïs, 2 ans. Le riz consomme à l'arrosage 2 litres d'eau; le jardinage, $1^l,5$; les céréales, 0^l; les prairies, $0^l,50$; les plantes industrielles, $0^l,25$: soit, en moyenne : 0^l 85.

La prise d'eau sera à 150 mètres en amont de la borne kilométrique 305, au-dessus de l'épi du Cassaïre: elle laisse ainsi 600 hectares en amont; il faut encore en arroser 9,000, et même 8,000 seulement, en défalquant les surfaces bâties, etc. Comme un tiers restera sans culture, on peut réduire le cube à dériver à 5^{m3} par seconde. L'irrigation sera faite par un canal principal et trois branches secondaires; l'une, longeant le canal de Bouc; l'autre, le chemin de fer d'Arles à Saint-Louis; la troisième, la rive gauche du Rhône.

Le niveau de l'eau est à $3^m,25$ au départ; la vitesse varie de $0^m,25$ à $0^m,45$; les pentes, de $0^m,05$ à $0^m,13$ par kilomètre, et la largeur du plafond, de $1^m,00$ à $2^m,20$.

Les machines élévatoires montant l'eau de $+0^m,68$ à $+3^m,25$ en moyenne, soit de $2^m,57$, disposeront d'une force de 171 chevaux, et même de 230 en vue des chômages.

Dépenses de premier établissement : pour 5^{m3}

Canaux.	Terrains	140,000 fr.	2,115,000 fr.
	Terrassements	410,000	
	Travaux d'art	450,000	
	Machines élévatoires	665,000	
	Imprévu	165,000	
	Frais généraux	285,000	

Dépenses annuelles : pour 5^{m3}

Canaux.

Intérêts	76,200 fr.	117,315 fr.
Amortissement	5,715	
Entretien et réparation	26,600	
Surveillance	8,800	

Machines.

Intérêts	50,700	111,695
Amortissement	12,675	
Charbon	27,960	
Graissage, éclairage	4,660	
Entretien	3,000	
Personnel	12,700	
Frais généraux		18,195
Total		242,000 fr.

ce qui donne le prix de 45 francs pour un arrosage de 1 litre par seconde et par hectare.

On peut supposer qu'on ne donne que 3^{m3},33, 1^{m3},66, ou enfin 0^{m3},50. Dans chacune de ces hypothèses, on aurait :

Pour 3^{m3},33...	Dépenses de premier établissement............	1,920,000 fr.
	Entretien annuel..........................	209,500
Pour 1^{m3},66...	Dépenses de premier établissement............	1,730,000
	Entretien annuel..........................	179,000
Pour 0^{m3},50...	Dépenses de premier établissement............	1,730,000
	Entretien annuel..........................	170,000

En récapitulant les dépenses calculées ci-dessus, on trouve :

Frais de premier établissement (arrosage à 5^{m3}) :

Desséchement......................	2,010,000 fr.	4,200,000 fr.
Digue à la mer....................	75,000	
Irrigation........................	2,115,000	

pour 8,000 hectares, ou par hectare 525 francs.

Pour les dépenses annuelles :

En supposant acquise une subvention de l'État égale à la dépense de premier établissement, elles se monteront par hectare à :

Pour	5^{m3},	à 23^f,17,	ou en capital à	463^{f}40,
—	3^{m3},33,	20^f,00,	—	400^{f}00,
—	1^{m3},66,	17^f,30,	—	346^{f}00,
—	0^{m3},50,	16^f.07,	—	321^{f}00,

ce qui donne, pour les trois services réunis, un capital correspondant de 988 francs à 5^{m3}; 925 francs à 3^{m3},33 ; 871 francs à 1^{m3},66 et 846 francs pour 0^{m3}, 50.

Il faut ajouter encore les frais de mise en culture, qui peuvent s'évaluer à 550 francs par hectare : soit en tout 1538 francs, en supposant l'irrigation normale de 5^{m3}.

Comme ces terres valent au minimum déjà 300 francs, leur prix de revient sera de 1838 francs, soit de 1850 francs.

M. Duval estime qu'elles rendraient, asséchées seulement, 50 francs, valant 1,000 francs en principal ; qu'avec l'irrigation, elles rapporteraient 120 francs de plus, soit 170 francs, représentant une valeur vénale de 3,400 francs. Le bénéfice de l'opération serait donc en moyenne 2,600 (moyenne entre les terres arrosées et les autres) — 1850 = 750 francs, et, pour 8,000 hectares, 6 millions de francs.

On demandera à l'État 4,200,000 francs, montant de la dépense de premier établissement.

La Compagnie qui se chargera des travaux vendra l'eau 40 francs le litre, 34 francs les 0l85, et 2f50 par hectare l'eau destinée aux usages domestiques. Mais, comme pendant les dix-huit premières années la recette sera inférieure à la dépense d'entretien, l'État devra lui rembourser une somme de 583,562 francs, montant de sa perte, ce qui portera la subvention de l'État à 4,800,000 francs en nombre rond.

Les propriétaires gagneront une plus-value de 750 francs par hectare, grevée de 25 francs d'impôts et de 35 francs de frais d'arrosage.

L'État gagnera une plus-value sur le Gloria, qui vaudra 800 francs l'hectare, et pour 500 hectares, 400,000 francs. L'amélioration sanitaire sera considérable. La Compagnie aura 25,000 francs de bénéfice au bout de dix-huit ans et pendant les trente-deux années suivantes.

Discussion. — La plupart des objections que nous avons élevées déjà contre les idées, les principes et les conclusions de M. Duval, subsistent ici entièrement, et s'appliquent tout aussi bien à cette seconde partie de son étude : aussi ne les reproduirons-nous pas.

Les solutions que propose ce projet sont encore plus onéreuses, s'il est possible, que celles présentées pour la Camargue.

C'est toujours le même mirage menteur de plus-values fantastiques qui égare M. Duval, et le conduit à des solutions savantes, mais absolument impraticables dans ce pays ingrat ! Ce n'est pas en Crau, en Lombardie, en Hollande, qu'il faut aller chercher des inspirations, des chiffres et des exemples; il faut rester en Camargue, pour savoir ce qui peut seul convenir à la Camargue. La plupart des terres basses et moyennes ne pourront supporter la lourde dépense de ces desséchements et de ces irrigations à la machine; nous l'avons montré, elles ne vaudront jamais, suivant leur altitude, plus de 1,500 à 2,000 francs : comment pourraient-elles supporter en plus de leur valeur actuelle, en moyenne de 500 francs, une dépense de 1,550 francs, sans compter les pertes d'intérêts et de fermages pendant les travaux, qui n'entrent pas encore dans ce compte ?

Quant aux terres hautes, nous contestons formellement qu'elles puissent jamais atteindre une valeur de 3,400 francs : en effet, d'excellentes prairies, aux portes d'Arles, à +3m,00, s'écoulant directement et sans frais dans les canaux de la Vuidange ou du Vigueirat, arrosées presque gratuitement par le canal de Craponne, ne valent que 3,600 francs; dans le bas Plan-du-Bourg, la valeur des meilleures terres en *ségonnal* ne dépasse nulle part 2,500 francs. L'irrigation et le desséchement coûteront annuellement dans le Plan-du-Bourg au moins 50 francs, représentant un capital de 1,000 francs; mais elles valent 1,000 francs déjà actuellement; avec 1,550 francs de déboursés et de frais divers, leur prix de revient sera

de 2,550 francs : où sera le bénéfice ? Ce ne sera même pas la subvention de l'État, qui sera engloutie, sans reparaître au profit de personne.

Il faut donc beaucoup rabattre de cette plus-value de 6 millions de francs que nous promet, tous frais payés, M. Duval.

Examinons cependant en détail les solutions proposées.

Le problème de l'amélioration du Plan-du-Bourg est plus complexe relativement que celui de la Camargue, parce qu'il est difficile d'amener l'eau du Rhône à la cote d'Arles, et parce qu'on n'a pas les suppléments de pente pour l'écoulage qu'on peut créer artificiellement ailleurs au moyen du Valcarès.

Il est difficile, en effet, de dériver le Rhône, à Arles, sur sa rive gauche; il serait difficile ou impossible de placer sur un certain parcours un canal d'arrosage entre le fleuve et le canal de Bouc : il faudrait le rejeter à gauche de ce dernier canal, puis passer deux fois en siphon, opérations assez délicates ; on aurait en plus une traversée de près de 15 *kilomètres* dans le petit Plan-du-Bourg, dont l'arrosage ne couvrirait pas les frais de passage.

Nous indiquerons une autre solution, infiniment plus avantageuse, que promettent les projets de M. Nadault de Buffon sur les marais de Fos et les terrains de la Crau.

Quant aux écoulages, le Plan-du-Bourg n'a rien qui corresponde au Valcarès. Il faudrait créer des bassins artificiels d'une capacité nécessairement fort limitée, et, pour abaisser le plan de l'eau, disposer de machines très-fortes. Ou bien il faut se résigner à écouler les eaux directement dans la mer à la cote moyenne de + 0m,42 ; ou, pour les parties supérieures, dans le bief maritime du canal de Bouc, maintenu par des clapets à grand débouché, à un niveau à peine supérieur à celui de la mer, ce qui est un avantage trop oublié dans le projet de M. Duval. Dans tous les cas, il y aurait une économie considérable à rejeter directement dans ce bief les eaux des terres hautes, des cotes de plus de 1m,50, plutôt que de les envoyer aux machines, qui auraient à les élever en pure perte de 1m,15 : on pourrait évacuer ainsi naturellement, sans frais, près de la moitié des eaux de colature, d'autant plus qu'il ne s'agit ici, pas plus que pour la Camargue, de dessécher les terres basses, mais bien d'en régler seulement la submersion. Et, qu'on ne l'oublie pas, ce n'est pas à grands frais qu'on pourra jamais tenter rien d'utile en Camargue ! le problème n'admet que les solutions les plus modestes ; on ne réussira qu'à force d'*ingéniosité*, d'*économie* et de *patience*.

M. Duval n'a pas proclamé en cette occasion la nécessité d'un travail d'ensemble : en effet, les solutions morcelées et successives sont très-admissibles dans le Plan-du-Bourg. On peut parfaitement considérer une série de zones perpendiculaires au Rhône et au canal, envoyant à ce canal leurs eaux d'écoulage directement, ou même par machines, et prenant l'eau à un canal dérivé du Rhône presque sur le bord du fleuve,

ou même en vue de cultures industrielles assez rémunératrices, prenant les eaux directement au Rhône avec des pompes : car l'emploi des machines, trop onéreux pour les terres médiocres d'une vaste zone, est quelquefois acceptable dans certaines conditions déterminées.

Il sera bien meilleur, évidemment, de provoquer une entente générale et d'obtenir, comme nous le dirons, un canal d'irrigation naturelle amenant l'eau sur la rive gauche du Rhône à une cote voisine de 3m,00, s'il est possible, presque aussi haut que le donneraient les machines de M. Duval. A partir de ce canal, la distribution se fera assez bien jusqu'au canal de Bouc, les terres présentant une faible pente de la rive du Rhône au canal de Bouc ou au thalweg des étangs du bas de la Crau, pente transversale dont nous avons souvent parlé. A l'autre extrémité, au bas de la pente, se trouverait le canal de Bouc, collecteur naturel des écoulages : ces conditions seraient très-favorables.

Nous reviendrons plus longuement sur ce qu'il faudrait faire dans des conditions plus modestes que les propositions de M. Duval, propositions aussi inacceptables que les premières, puisque pour une plus-value, proposée par lui, de 6 millions de francs, il veut imposer à l'État et aux propriétaires une dépense de plus de 12 millions de francs !

En appliquant au Plan-du-Bourg les données expérimentales généralement acceptées et des conditions beaucoup moins coûteuses, nous pourrons estimer à plus de 3 millions la plus-value à promettre aux propriétaires : c'est seulement dans ces limites qu'on peut chercher quelque solution utile, et faire appel aux bonnes volontés, avec quelques chances d'être écouté.

PROJET DE M. NADAULT DE BUFFON..

Bien qu'il sorte du cadre que nous nous sommes tracé, nous devons mentionner un projet de colmatage actuellement soumis aux formalités de l'enquête déclarative d'utilité publique. Nous devons en parler, d'abord à cause du nom de son auteur, ensuite parce que, tout en s'adressant en réalité aux terrains de la Crau, il touche aux terrains bas du Delta, aux marais tourbeux qui s'étendent du Mas-Thibert à Fos, et qu'il entreprend de colmater et de conquérir à l'agriculture, et parce qu'enfin il prépare peut-être une solution facile à l'amélioration du Plan-du-Bourg. Ces marais à colmater occupent une surface d'environ 5,000 hectares à la limite de la Crau et du Plan-du-Bourg; leur niveau moyen est + 0m,63; ils valent au plus haut prix 350 à 400 francs l'hectare. et rendent de 15 à 20 francs. Le projet de M. Nadault de Buffon propose de relever à

+2^{m},00 le niveau du sol, pour le livrer à une culture plus avancée et assainir le pays.

A cet effet, on ferait une dérivation de 80^{m3} à la Durance (à 600 mètres en aval du pont de Mallemort), par 20 vannes de 1^{m},00 par 1^{m},66 de largeur; un canal de 20 kilomètres amènerait à travers la Crau les eaux troubles en tête des marais; les pentes et sections sont calculées pour ménager partout aux eaux troubles les vitesses de 1^{m},25 à 1^{m},50, suffisantes pour empêcher les dépôts en route; 12 canaux secondaires desserviraient 12 bassins de 400 hectares chacun, divisés en 3 compartiments remplis tous les trois jours. Les eaux claires seraient recueillies par des colateurs secondaires et un colateur principal, et reprises par 6 tympans à vapeur de 6 chevaux, pour être rejetées à la mer ou au canal de Bouc. C'est sur l'assainissement de ces marais que se basent la demande de concession de ce canal et son caractère d'utilité publique. Les propriétaires, refusant de se laisser appliquer les dispositions de la loi de 1807 et de courir les chances des plus-values aléatoires et peu faciles à régler, demandent à être expropriés.

Ce n'est pas assurément de ce côté que la Compagnie anglaise qui sollicite la concession recherche la rémunération de ses peines et les bénéfices de sa spéculation. Les devis portent à 16 millions de francs le montant des travaux qui seront à sa charge; répartie seulement sur 5,000 hectares de marais, cette dépense donnera un prix de revient de plus de 3,000 francs par hectare, valeur que ces terrains, même arrosés et asséchés, n'atteindront que très-difficilement en pratique.

Mais les demandeurs se réservent de délivrer les eaux, sur le parcours du tronc principal, aux propriétaires de la Crau qui voudront entreprendre le colmatage de leurs *coussouls*. Suivant l'auteur du projet, les bienfaits du colmatage pourraient s'étendre à 20,000 hectares de ces terres pierreuses et incultes; on leur fournirait une couche de 0^{m},18 de limon fertile par tranches successives de 0^{m},05 à 0^{m},06, remaniées et mélangées avec le sol naturel de poudingues, déjà ameubli sur 0^{m},40 à 0^{m},50 d'épaisseur.

On a fait quelques objections à ce projet: les dépenses seront beaucoup plus fortes que le devis ne les prévoit, parce qu'elles se compliqueront des pertes d'intérêts sur des sommes énormes pendant 3, 4, 5 et peut-être même 6 années. La situation sanitaire ne sera pas améliorée pendant ce laps de temps, tout au contraire. L'écoulement des eaux claires à la mer n'a pas été complétement étudié. Le projet emprunte le canal de Bouc pour éviter une traversée en siphon; les syndicats des Vuidanges supérieures s'opposent absolument à ce qu'on vienne troubler leurs écoulages. On ne voit pas bien formée la clientèle que la Société concessionnaire pourra réunir en Crau pour les colmatages, la seule opération rémunératrice qu'elle ait en vue: elle ne présente en effet aucun traité provisoire, aucune majorité constituée qui lui permette de

passer par-dessus les résistances des récalcitrants. Et puis, il faudrait assurer les arrosages pendant les grandes chaleurs; à son étiage, la Durance donnant à peu près tout ce qu'elle débite aux anciens concessionnaires, la Compagnie nouvelle n'aurait peut-être de l'eau disponible, en quantité suffisante, qu'en dehors de la saison des arrosages... Cette circonstance, qui renverserait toute l'économie du projet, n'aura pas échappé aux réflexions des concessionnaires; toutes ces difficultés seront sans doute heureusement résolues.

La plupart de ces objections regardent du reste la Compagnie plutôt que le public : aussi la Commission d'enquête n'a-t-elle pas pu marchander son approbation, sous la réserve des droits acquis, au projet qui lui a été soumis. Tout en appuyant de ses vœux l'exécution de cette œuvre importante, on peut redouter cependant qu'elle ne réserve de graves mécomptes aux hommes hardis qui s'y consacrent, résultat toujours affligeant, toujours regrettable, et qui compromet tout le bien qu'on peut attendre de l'entreprise la plus utile. Mais l'ingénieur éminent qui s'est fait le promoteur de cette œuvre, trouvera très-certainement dans son expérience consommée les moyens pratiques d'aplanir tous les obstacles, et d'attacher une fois de plus son nom à une grande et belle œuvre.

PROJET DE LA COMPAGNIE DE SAINT-LOUIS-DU-RHÔNE.

Nous devons dire quelques mots d'essais tentés en ce moment dans le bas Plan-du-Bourg par une Société propriétaire de vastes terrains aux abords du canal Saint-Louis.

Par le luxe des moyens employés, une entreprise semblable est loin d'être à la portée de tout le monde : aussi la tentative semble-t-elle devoir être beaucoup plus théorique que pratique, et rester dans le domaine exclusivement spéculatif.

On applique là un procédé souvent indiqué, qui a été appliqué au domaine de Tournebelle, dans le Delta de l'Aude, près de Narbonne. Il consiste, pour dessaler les terres, à établir un drainage complet du sol, à défoncer le terrain, puis à arroser et à écouler, après avoir lessivé la couche à exploiter, comme le préconisait et le tentait M. Duponchel à Vic-Mireval. Tout comme là, à Saint-Louis, arrosage et écoulage doivent se faire artificiellement, à grand renfort de machines.

Le terrain, une fois lessivé, est ensemencé en prairie; l'irrigation et l'écoulage artificiels continuent à fonctionner et à empêcher les remontées de sel. On attend de ce système pour toutes les terres, *hautes*, *moyennes* et *basses*, des résultats largement rémunérateurs : peut-être des

produits annuels de 500 à 600 francs par hectare, comme à Tournebelle, et une valeur vénale correspondant à ce revenu.

La dépense effective correspondante de premier établissement est d'au moins 1,000 à 1,200 francs par hectare[1]; la dépense annuelle d'entretien, d'arrosage et d'assèchement à la machine, sans parler des frais spéciaux de culture, sera de 70 à 80 francs par hectare, ce qui représentera en somme, en dehors de la valeur primitive du sol, un capital ou un déboursé de 2,600 à 2,800 francs. Quant à la plus-value attendue en retour de ces dépenses, le précédent sur lequel on s'appuie semblerait ne pas laisser de doutes sur un très-beau succès final; malheureusement, en regardant les choses de plus près, il est facile de reconnaître que les conditions dans l'Aude et en Camargue ne sont guère comparables. On peut s'en assurer facilement en jetant les yeux sur une carte géologique de la région du Midi... L'Aude est un fleuve qui a 140 kilomètres de cours, qui prend sa source dans les terrains primitifs dévoniens des Pyrénées, tandis que le Rhône, sur ses 600 kilomètres de parcours, traverse à peu près exclusivement les terrains jurassiques : par suite, nous trouvons aux alluvions des embouchures, ici des éléments relativement assez gros encore, sablonneux ou calcaires; là, des éléments réduits au dernier degré de ténuité, et principalement argileux.

Physiquement et chimiquement, la différence est donc aussi profonde que possible : le sel a moins d'affinité pour les terrains poreux que pour l'argile; les éléments moins fins laissent passer facilement les eaux de lavage, qui entraînent promptement le sel; la tendance ascensionnelle est beaucoup moindre aussi dans des tubes moins capillaires.

On ne peut raisonnablement comparer, du reste, deux situations à 200 kilomètres l'une de l'autre, quand bien plus près, à quelques centaines de mètres de distance, au confluent du Gardon et du Rhône, par exemple, nous voyons les terres d'alluvions du Gardon, légères, perméables, valoir 8 à 10,000 francs l'hectare, alors qu'à quelques pas plus loin, au delà du faîte de séparation des deux bassins, les terres compactes, argileuses, des alluvions du Rhône ne valent pas 3,000 francs! Dans le premier cas, les alluvions sont le produit d'une rivière de faible longueur (comme l'Aude), charriant des éléments assez gros, quartzeux, micacés; dans le second, ce sont les limons argileux du Rhône, déposés après 600 kilomètres de parcours, qui les ont désagrégés et pulvérisés à la dernière limite.

Le drainage fonctionne à Tournebelle dans de bonnes conditions, mais on ne saurait lui attribuer le mérite exclusif du succès obtenu; il n'était même pas indispensable, puisque dans la propriété voisine, celle de M. Barlabé, où l'on n'a pas eu recours à lui, mais où l'on

1. Dans cet essai, les dépenses se sont élevées en réalité bien plus haut; mais, avec une plus sage économie, on n'aurait pas dépassé les chiffres ci-dessus.

procède par arrosage en lames minces et colmatages successifs, on obtient des résultats au moins aussi brillants qu'à Tournebelle. Il faut surtout attribuer le succès du dessalement et les beaux produits de 5 à 600 francs, réalisés dans ces parages, à la porosité du sol, et, par-dessus tout, à cette circonstance exceptionnelle, que les eaux d'arrosage prises à la *Roubine de Narbonne* sont animalisées et fertilisantes, et fournissent *gratuitement* un engrais précieux. Toutes les eaux d'égout de Narbonne, ville de 17,000 habitants, se rendent, en effet, dans cette roubine, et passent sur les prairies, qu'elles arrosent et fécondent. Ajoutons encore que dans ces pays de vignoble, comme l'Aude et l'Hérault, les fourrages, même très-grossiers, à cause de leur rareté, atteignent un prix inconnu dans le terroir d'Arles, qui en produit de grandes masses d'excellente qualité, dans les parties arrosées de la Crau, du Trébon, etc.

Tout compte fait, on ne devra pas beaucoup, dans les essais de Saint-Louis, au dispendieux concours du drainage. Dans ces terres, comme dans celles de la Camargue, les drains, à 1 mètre de profondeur, tombent au-dessous de la couche superficielle imperméable, et au milieu du sous-sol vaseux, qui reste encore assez perméable sous la faible charge qui le tasse : dans ce milieu, le drainage n'aura pas un bien notable effet utile ; il courra seulement le risque d'être promptement obstrué par les éléments très-fins, qui ne manqueront pas de tourner les emboîtements des manchons. L'excédant de dépenses des tuyaux n'apportera donc avec lui aucun avantage; ces canaux souterrains inaccessibles auront même une infériorité marquée sur les canaux découverts, qui offriront toutes les facilités pour l'entretien et le curage.

Un premier défrichement de la surface, divisant une première tranche plus ou moins épaisse de la couche supérieure compacte, et une submersion plus ou moins prolongée de partènements environnés de nombreuses rigoles d'écoulage, avec certaines précautions que nous indiquerons plus loin, donneraient une solution aussi efficace et autrement plus économique.

On recommande trop souvent, sans discernement, le drainage comme une panacée universelle, souveraine dans tous les cas. La pratique agricole la plus sage ne partage pas cet engouement : elle n'abuse pas de ce remède coûteux, ne l'accepte qu'à bon escient, et seulement dans les cas de nécessité absolue.

Cette nécessité absolue n'est rien moins que démontrée en ce qui concerne la Camargue. Fût-il même indispensable, les sommes considérables que le drainage a coûtées à la Compagnie de Saint-Louis le condamneraient même sans retour, comme beaucoup trop onéreux dans les conditions misérables de ce pays.

Avec les mêmes dépenses excessives, l'entreprise tentée à Saint-Louis pouvait avoir un profond retentissement et une grande portée, en réalisant ce *desideratum* souvent rêvé d'un vaste champ d'expériences pra-

tiques ; mais, pour cela, il fallait se bien pénétrer des exigences de la situation du pays, de domaines de 2,000 hectares, étudier toutes les combinaisons possibles du *minimum* au *maximum* de dépenses, déterminer une double échelle des frais et des rendements, fixer pour chacun des cas les conditions les plus profitables, reconnaître l'influence sur les cultures de l'élévation de la surface cultivée au-dessus du sous-sol, du plan d'écoulage, les meilleurs écartements à donner aux canaux d'écoulage, etc., etc. Application isolée d'un unique système préconçu, cette expérience coûteuse n'aura pas apporté de bien utiles enseignements, et n'aura pas fait faire un seul pas à la question générale de l'amélioration de la Camargue.

CHAPITRE III.

Améliorations possibles dans la Camargue et le Plan-du-Bourg.

Moyens à proposer. — Solutions et limites financières.

Aucun des nombreux projets que nous venons d'analyser n'a reçu un accueil sympathique de la part des intéressés ; beaucoup étaient cependant savamment, laborieusement étudiés; on ne leur a même pas toujours rendu la justice qui leur était due : c'est que la masse des propriétaires, incapable souvent d'en apprécier la valeur technique, n'a examiné et jugé que les deux chapitres des *dépenses* et des *bénéfices;* peu édifiée à cet endroit, elle a englobé tout le travail dans une pensée de défiance générale, devant laquelle les projets ont tour à tour succombé. Il faut bien avouer que, pour la plupart, ils ne se sont pas assez inspirés des véritables nécessités de la situation, de celle surtout qui prime toutes les autres, une économie *farouche*, *implacable*. D'autres fois, le problème était mal posé, les données locales oubliées ou ignorées, des expériences concluantes méconnues : comme conséquence, il en résultait souvent d'assez graves erreurs.

Essayons de combler quelques lacunes, de résumer les principales données du problème, de fixer les limites entre lesquelles il faut invariablement le borner, sous peine de ne rien produire de fécond ni d'utile.

Faisons d'abord justice une bonne fois d'une erreur déplorable, dont on ne s'est pas défié et qui a inspiré tous ces calculs fantastiques de plus-values, l'écueil de tous ces projets.

On prétend toujours comparer la Camargue à la Crau, à la vallée du Rhône, à la Lombardie ou à la Hollande, et lui appliquer les systèmes, les méthodes, les calculs particuliers à ces pays; il n'y a pourtant absolument rien de comparable...

Dans la Crau, à Orange, en Lombardie, on a des terres en pente marquée, pas de traces de sel, des vents moins forts, plus de pluies et moins de sécheresse, des sous-sols perméables, drainant parfaitement la surface, nulle trace de tendance marécageuse; rien de cela n'existe en Ca-

margue; et ainsi, tandis que dans la Crau il faut lutter par des fumiers moins actifs contre la tendance qu'ont les herbes des prairies à devenir plus fines, plus savoureuses, mais d'une masse et d'un rendement moindres, en Camargue, où la pente générale n'est pas de $0^m,10$ par kilomètre, avec un sous-sol imperméable, les herbes deviennent grossières, se rapprochent des joncs, en dépit de tous les efforts.

Les conditions des *polders* hollandais, des *moëres* françaises, sont tout aussi différentes : à Rotterdam, la hauteur des pluies est de $1^m,46$, l'évaporation annuelle de $0^m,642$; à Arles, on a $0^m,57$ pour la moyenne des pluies, et $2^m,56$ pour l'évaporation ! Dans le Nord, sans parler de la différence des vents, de l'état hygrométrique, avec le seul excès des pluies, le sel est constamment refoulé dans le sol, il tend à descendre, et l'on s'en débarrasse pour toujours. En Camargue, c'est tout le contraire qui se produit. N'en appelons donc de la Camargue qu'à la Camargue elle-même, et laissons ces exemples à leurs pays...

Expériences a faire. — On peut être justement étonné, en vérité, de ne pas trouver établi, depuis 60 ans que ce problème de l'amélioration de la Camargue est à l'ordre du jour, un vaste champ d'expériences, de 2, 3 ou 400 hectares, réunissant les conditions diverses des terres de l'île, fixant aujourd'hui les données précises de la mise en culture, et remplaçant ces conjectures plus ou moins acceptables, auxquelles on est encore réduit, quand on propose quelque chose pour la Camargue. Grâce à l'initiative de M. Duponchel, le département de l'Hérault a été doté, à Vic-Mireval, de cette sorte de *laboratoire d'essais pratiques ;* mais, comme les conditions ne sont pas comparables à celles de la Camargue, il y a urgence à doter aussi cette dernière d'un établissement pareil. C'est la préface obligée de toute entreprise générale sérieuse : l'œuvre de régénération ne commencera réellement que sur les bases fournies par une pareille école.

Mais, ne pouvant attendre les renseignements qui seront tirés de là, il nous faut chercher autour de nous à dégager de certaines expériences particulières quelques utiles leçons.

Nous ne rappellerons pas les essais malheureux de culture du riz en Camargue, à Paulet, à l'Eysselle, au château Davignon, etc. ; nous savons que là on arrivait bientôt, à la troisième année au plus tard, à ne cultiver que des plantes parasites, dont le sarclage en temps utile, au prix élevé de la main-d'œuvre, avait été impossible. L'effet de dessalement résultant était aussi de courte durée.

On a cité souvent l'exemple des marais des Baux, mais ces terres n'étaient pas salées; l'expertise a fixé la plus-value moyenne acquise à 1,100 francs pour des terres douces : on ne voit pas trop comment on peut passer de là aux plus-values de 2 à 3,000 francs qu'on a proposées en rêve pour les terres salées de la Camargue; et encore aujourd'hui,

après que la couche écobuée des Baux a été emportée par les vents, combien ne devrait-on pas rabattre de cette estimation primitive de 1,100 francs?

Nous avons cité l'exemple désastreux des marais de Beaucaire, où, pour combattre cette tendance marécageuse, pour assécher en quelque sorte chaque flaque d'eau, on a dû pousser à l'infini les rigoles d'écoulage, en décuplant la dépense primitivement prévue, et où, en désespoir de cause, pour les parties basses, on a dû revenir au point de départ, aux marais submergés et roseliers.

Nous recommandons particulièrement les deux exemples fort instructifs de la Reïranglade et des Partisans, près de Bellegarde.

Dans le premier domaine, on trouve réunies les conditions diverses de la Camargue : c'est le meilleur champ d'expériences que l'on ait encore vu ; tout comme en Camargue, on y trouve :

1° Des terres *hautes*, non arrosables, mais asséchées et donnant des céréales, des luzernes ;

2° Des terres *moyennes*, irrigables et asséchées, donnant, suivant l'altitude, 3 à 5,000 kilogrammes d'un foin grossier, valant 4 à 5 francs les 100 kilogrammes, d'un revenu brut de 150 à 200 francs en moyenne par hectare ;

3° Des terres *basses*, transformées en marais arrosables et écoulables, donnant de bons revenus en roseaux, grâce à la proximité des vignobles du Gard.

Aux Partisans, dans les plaines de Bellegarde, on a transformé de même, après 2 ou 3 ans de submersion, des prés d'*engane*s, donnant 10 francs de revenu, en prairies rendant 150 à 200 francs nets par an, en deux récoltes ; ce sont encore des foins grossiers, un peu salés, ne poussant pas à l'engraissement, mais donnant à la chair une saveur estimée ; on arrose avec une précaution infinie ces terrains à tendance marécageuse, on imbibe légèrement la surface quelquefois avec trois arrosages seulement par saison.

Voilà des essais fort bien dirigés, fort concluants, dans des terrains meilleurs certainement que ceux de la Camargue, essais qui ne peuvent laisser aucun doute sur les produits maxima qu'on peut demander à cette région.

De ces exemples nous pouvons conclure bien facilement une voie à suivre :

Chercher à étendre le périmètre des *terres hautes* par un asséchement plus complet ; la culture du blé n'est pas assez rémunératrice en Camargue pour être encouragée outre mesure ; on tâchera de développer dans les bonnes terres quelques prairies fines, mais surtout les luzernes, les garances, les chardons, les colzas, etc. ; certaines cultures, pouvant supporter de grands frais, permettront l'arrosage mécanique, l'irri-

gation par prise directe ne pouvant atteindre cette région élevée; ces terres, disposées généralement le long des rives du fleuve, pourront être facilement desservies par des machines. Les pailles nécessaires aux besoins des fermes seront fournies par les roseaux des régions basses.

Dans les *terres moyennes*, on fera des prairies naturelles, communes, en commençant par les submerger pendant 2 ou 3 ans, et par les cultiver en marais roseliers pour payer les frais d'arrosage : on aura par la suite des prairies marécageuses, donnant de la pâture pour *le croît* et rendant au mieux de 100 à 150 francs au maximum, sans comprendre les frais d'arrosage et de coupes, soit net 75 à 125 francs[1].

Enfin, dans *la région inférieure*, on étendra le plus possible la culture *roselière*, qui peut donner sans frais, sans main-d'œuvre, dans d'excellentes conditions par conséquent pour la Camargue, des produits variant de 20 à 100 francs par hectare, soit de 50 à 60 francs en moyenne.

Du fait de cette transformation, de ce régime nouveau :

La valeur des terres hautes n'augmentera pas sensiblement, d'un quart ou d'un tiers peut-être, si ce n'est pour des causes étrangères au projet, comme meilleure fumure, irrigations spéciales, assolement bien entendu, etc.; mais, par l'assèchement, leur périmètre s'étendra, donnant une augmentation à la valeur générale de l'île;

Les terres moyennes auront leur rendement augmenté de 10 francs à 100 francs nets en moyenne, et leur valeur de 300 à 2,000 francs au maximum, soit de 1,200 à 1,500 en moyenne;

Les terres basses ou marais, qui valent aujourd'hui de 300 à 800 francs, passeront à des prix de 800 à 1,500 francs, gagnant 800 francs au maximum, 500 francs en moyenne;

Les étangs inférieurs pourront gagner 100 francs.

En dehors de ces évaluations, on ne calculera rien de raisonnable.

On pourra alors nourrir en Camargue un nombre suffisant de bêtes à laine ou à cornes, et obtenir des fumiers pour améliorer sensiblement la culture des bonnes terres et développer les cultures *intensives*, le *desideratum* toujours formulé.

Des fumiers. — La question des fumiers présentera toujours une extrême importance en Camargue.

Pour en produire le plus possible, il faudra modifier bien sensiblement la routine actuelle, augmenter les troupeaux, organiser des parcages et construire des bergeries et des étables.

Comme nous le verrons plus loin en essayant d'étudier l'organisation d'une ferme-type, on pourrait élever sur les terres moyennes des troupeaux qui donneraient par la *stabulation nocturne* des fumiers destinés à

1. Les terres moyennes de Camargue, à la cote de $1^m,50$, ne peuvent pas prétendre aux produits de 150 et 200 francs des terres de Beaucaire, à la cote de $4^m,00$.

la culture plus avancée des terres hautes. Ce sera le meilleur emploi que l'on puisse recommander pour ces produits grossiers de la Camargue, qui soutiendraient mal la concurrence des herbes fines de la Crau et du bon terroir d'Arles, et qui supporteraient plus mal encore des frais élevés de transport au loin. Dans ces conditions, deux hectares et demi au plus nourriront deux bœufs et donneront le fumier nécessaire à la culture d'un hectare de bonne terre; à ce principal s'ajoutera le bénéfice de l'engraissement, engraissement *lent* forcément, à cause de la qualité très-médiocre du fourrage consommé; ce bénéfice variera par tête, suivant les années et la mortalité, et pourra s'élever à 25, 40 ou 50 francs : c'est un *aléa* qui dépend des mouvements de la spéculation.

Quant aux autres engrais, guano, phosphates, déchets d'équarrissage, etc., ils reviennent à des prix trop élevés et deviennent trop rares, pour qu'on puisse compter beaucoup sur eux pour l'amélioration des cultures de l'île.

Avant d'étudier les systèmes généraux d'arrosage et d'asséchement, voyons quel parti la contrée pourra tirer des moyens qui pourront être mis à sa disposition pour le dessalement, la mise en culture, etc.

De la salure et du dessalement. — La question du dessalement n'ayant été traitée dans aucun des projets, nous devons l'envisager ici avec quelques détails.

Les terres de Camargue contiennent généralement de 1,5 à 4 pour 100 de sel; elles sont à peine cultivables à 0,10 pour 100, elles le sont déjà utilement à 0,05 pour 100.

Un procédé qu'on a beaucoup prôné pour le dessalement des terres, a été l'emploi des rizières pendant 3 ou 4 ans : les labours, les sarclages de ces terres submergées convertissent la couche supérieure en boue, qui finit par s'épuiser du sel contenu, si l'eau est souvent renouvelée; le terrain remué finit par se dessaler ainsi sur $0^m,25$ à $0^m,30$ d'épaisseur, et peut être cultivé en blé ou en luzerne; mais, au bout de quatre ans, le sel revient assez souvent plus ou moins saturer la couche arable, et il faut recommencer tout à nouveau.

L'œuvre de dessalement n'a été que superficielle; il reste toujours à quelques décimètres plus bas d'immenses provisions de sel que la capillarité appelle constamment à la surface; on se trouve en présence d'un ennemi qu'il faut combattre, et constamment, et toujours : il en est comme d'un ressort, qu'on ne tient refoulé qu'à la condition de presser sur lui sans un seul instant de relâche. La différence ne saurait être plus profonde entre ce qui se passe là et ce qui se passe dans les pays du Nord.

Les rizières ayant dessalé la terre très-peu profondément, pour continuer leur œuvre, il faut adopter une culture arrosée, qui combatte les

remontées de sel ; la culture labourée, qui ne peut que détruire les tubes capillaires, serait impuissante, et ne résisterait pas plus de quatre ans à l'invasion nouvelle.

Quoi qu'il en soit, les rizières sont tellement insalubres pour les ouvriers et le pays d'alentour, qu'on ne peut humainement les recommander ; les sarclages exigent beaucoup de main-d'œuvre, ce qui manque précisément le plus dans l'île ; l'exploitation des marais roseliers sera au moins aussi efficace, parce que la submersion est constante et infiniment plus salubre, parce qu'il serait facile d'imaginer les moyens de couper les roseaux sans mettre les marais à sec.

Pourrait-on rendre plus durable l'œuvre du dessalement ? C'est là une *question bien* intéressante pour les terres qu'on voudrait livrer à une culture plus avancée, une culture *arbustive* par exemple ; cela nous conduit à parler avec quelques détails des intéressantes recherches faites par M. Duponchel à Vic-Mireval.

A la suite d'observations fort suivies, en thèse générale, il établit les théories suivantes :

Les terres imprégnées de sel le retiennent avec une grande énergie ; les simples lavages superficiels sont inefficaces : en effet, des eaux douces, *après* avoir séjourné dans la cuvette des marais de Vic, salés à 4 et même à 7 pour 100, n'accusent pas à leur sortie une salure sensible.

En Camargue, de vastes surfaces recouvertes par les eaux de pluie, depuis des siècles, n'ont rien perdu de leur salure originelle. C'est que le sel n'est pas seulement en dissolution, en dépôt dans le sol ; mais, par une affinité, une cohésion véritable, il est fixé et retenu par les molécules à un degré de concentration supérieur à celui des eaux de drainage.

Si un terrain est recouvert constamment par des eaux plus ou moins salées que lui, il s'établira à la longue, par une sortie d'*endosmose*, un certain équilibre de salure ; mais cela est extrêmement long, et, comme moyen pratique de dessalement, irréalisable, à moins cependant qu'on ne remue, qu'on ne malaxe la terre, sous l'influence d'un courant d'eau, comme cela se passe plus ou moins dans la culture des rizières.

Mais si, au lieu d'être constamment couvert d'eau, le sol est périodiquement submergé, puis desséché, alors, à chaque retour de l'eau saumâtre, il s'empare avidement d'une partie du sel qu'elle contient, et concentre de plus en plus la salure.

Les pluies immédiatement suivies de coups de vent sec du nord favorisent beaucoup les ascensions salines : l'humidité de la surface s'étant évaporée, le sel déposé, très-avide d'eau, attire l'humidité saline de la couche sous-jacente, qui déposera elle-même de nouveau son sel, en s'évaporant sous l'action du vent ou du soleil ; et le phénomène se continuera de proche en proche, d'autant mieux que la pluie aura tassé la

terre argileuse et resserré encore ces tubes capillaires, si favorables à l'ascension de l'humidité saline.

Pendant la saison humide, la dissolution saline tend au contraire à descendre par l'effet de la pesanteur.

Tous ces phénomènes ont été vérifiés par de longues observations à Vic-Mireval. On a pris un terrain de 570 hectares, dont les cotes varient de + 0m,50 à — 0m25; le sol est crayeux, calcaire, contenant 95 p. 100 de carbonate de chaux et de magnésie, quelques centièmes d'argile et de silice; la proportion de sel varie de 0,007 à 0,04 en poids : ces terrains ne sont pas trop pauvres au point de vue agronomique. Le sol est très-perméable et absorbant; il aurait cependant besoin d'amendements argileux. La couche arable, de 1 à 2 mètres d'épaisseur, repose sur une couche calcaire très-crevassée et très-fissurée.

Les terrains sont submergés par des eaux de source de salure très-faible, de 0,001 à 0,002; les terres entre + 0m,50 et + 0m,25 sont très-accidentellement submergées, et pendant quelques jours seulement; la zone entre + 0m,25 et 0 reste submergée pendant plusieurs mois d'hiver; enfin la zone entre 0 et — 0m,25 ne s'assèche que vers la fin de l'été, pendant deux ou trois mois.

Les analyses ont démontré que la salure croît dans ces conditions avec la hauteur : ainsi, tandis que la zone inférieure ne dépassait pas 0,006 à 0,008, l'intermédiaire variant de 0,010 à 0,020, la supérieure atteignait 0,030 et jusqu'à 0,045, au point le plus haut. Ce phénomène s'observe du reste invariablement en Camargue, en Égypte, dans le bassin de la Caspienne, etc.

De ces faits il faut conclure que la mise en culture, réduisant la durée des submersions, produit une grande concentration de sel à la surface; ce sel agit comme un poison sur les racines, surtout à la faveur de l'humidité qui l'entraîne dans les vaisseaux; les jeunes plantes sont extrêmement sensibles à cette action.

Il faudra éviter, en conséquence, que les eaux d'arrosage coulent en nappes sur de larges surfaces, parce que, se salant sur la première bande, elles saleraient davantage à leur tour la bande suivante; il faut éviter la façon des *ados*, qui dispose les terres en talus avec des parties hautes et des parties basses : car, au milieu de ces submersions périodiques, les premières, qui se dessèchent plus que les secondes, se saleraient davantage, comme pour les zones supérieures des marais de Vic. Il faudra donc des surfaces *parfaitement unies*, pour éviter les flaches où ne pousseraient que des joncs; à *faible pente*, pour éviter le plus possible les différences de niveau; *recoupées à de très-courts intervalles, de 20 mètres, de 10 mètres, moins peut-être encore, par de profondes rigoles*, faisant disparaître le plus tôt possible les eaux saumâtres, et les mettant hors de portée des herbes, des racines et de la couche active du sol.

Quant aux procédés actuellement en usage, couvertures de roseaux,

labours, binages, ce ne sont que des palliatifs, qui masquent la présence du sel, sans nullement en purger la terre.

Du drainage. — Pour obtenir un dessalement profond, efficace, M. Duponchel a proposé d'employer la *submersion avec le drainage :* ce qui réaliserait une sorte de lessivage du sol, en faisant partir le plus promptement et le plus directement possible les eaux saumâtres, qui pourraient sans cela ressaler d'autres parties. Par ce lessivage de haut en bas et un écoulage de fond bien assuré, on doit évidemment obtenir un résultat bien meilleur que par le lavage superficiel, qui ne peut entraîner le sel qu'horizontalement, dessalant une zone et ressalant parfois l'autre.

Il faut encore être bien assuré toutefois que les bouches des drains soient partout plus bas que les points les plus bas de la surface du sol, que les eaux saumâtres ne pourront refluer dans les drains pour un motif ou pour un autre et détruire les résultats obtenus.

C'est dans cet ordre d'idées que les expériences pratiques de Vic ont été faites.

Les opérations de lessivage furent commencées en 1864 ; on essaya de la culture en 1865, les terres ne contenant plus que 0,007 de sel ; en 1866, on eut une invasion de sel qui porta la salure à 0,033, et tous les essais de culture manquèrent ; on a recommencé, et, malgré ce procédé si éminemment rationnel, si énergique et si radical, malgré les avantages d'un sol spongieux, on n'a rien encore obtenu de satisfaisant, rien de concluant. Voilà un cas où ce mode d'amélioration tant préconisé a donné des résultats à peu près nuls ; dans l'Aude, nous l'avons vu, à Tourbelle, ne pas apporter d'amélioration spéciale, incontestable, sur ce qui était obtenu tout à côté en se passant de son concours. Il ne faut donc l'accepter qu'avec une extrême réserve, et ne pas promettre en son nom plus qu'il ne saurait tenir, d'autant plus que dans la Camargue ses applications seront plus délicates que partout ailleurs.

Ce remède *héroïque*, admissible dans certains cas spéciaux, ne peut entrer, pour d'immenses surfaces, pour *des milliers d'hectares*, dans la pratique courante : il coûte fort cher, et, dans des terrains composés d'éléments aussi fins que ceux de la Camargue, dans des terrains sans aucune pente, l'obstruction des tuyaux sera peut-être très-prompte ; il faudrait alors reprendre tout le travail au bout de quelques années ; on devra donner aux drains une très-grande section pour assurer l'écoulement à faible pente, et en rapprocher souvent beaucoup les lignes pour le rendre efficace. Par hectare, dans les conditions les plus favorables du Midi, avec les drains de $0^m,025$ à $0^m,05$ de diamètre, à 1 mètre de profondeur et 10 mètres d'écartement (les drains de $0^m,30$ à $0^m,35$ de longueur coûtant 20 francs le mille, leurs manchons, $7^f,50$; les collecteurs de $0^m,05$, 42 francs le mille, ceux de $0^m,06$ et $0^m,07$ de diamètre, 50 francs), le drainage revient à :

Tranchées et pose.

800 mètres de drains de 0m,05 de diamètre....	128f	00	176f	00
200 mètres de collecteurs de 0m,05 et 0m,06...	48	00		

Drains et manchons.

2,400 drains de 0m,025 et 0m,05.	66	00	93	75
300 collecteurs de 0m,05.	12	75		
300 collecteurs de 0m,06....................	15	00		
A valoir....................................			38	25
Total............			298f	00

Les difficultés de transport et le prix plus élevé de la main-d'œuvre en Camargue suffisent seuls à porter dans les mêmes conditions le prix de 300 francs ci-desuss à 400 francs au moins; et de plus, comme, pour obtenir une action quelconque, il sera nécessaire de rapprocher beaucoup les drains et d'augmenter les diamètres, à cause de l'imperméabilité, des obstructions possibles et de la faiblesse des pentes, le prix de revient sera encore bien plus élevé. S'il fallait répartir cette dépense de 400 francs seulement sur cinq années, la plus-value annuelle serait déjà de 80 francs à ajouter aux frais d'arrosage et d'asséchement : il n'y faudrait pas songer!

Il pourrait s'appliquer utilement à certaines couches compactes, épaisses de la zone élevée; mais il faudra reconnaître d'abord, par une pratique sérieuse, si la plus-value obtenue laisse quelque bénéfice sur les dépenses d'établissement et d'entretien.

Une telle expérience ne le recommanderait très-probablement pas pour les terres de la zone moyenne : on se trouve là en présence de produits de 100 à 125 francs par hectare, peu faciles à améliorer, et qui supporteraient difficilement les charges nouvelles du drainage, sans parler des autres frais annuels de machines, de canaux et d'entretien. Mais, heuresement, on n'aura pas à le regretter, car généralement il sera là tout à fait inutile : la couche supérieure, plus ou moins compacte, plus ou moins épaisse de la zone élevée se réduit ici à 0m,50, et même moins, et au-dessous l'on rencontre la tranche supérieure encore peu tassée, encore perméable du sous-sol : c'est dans cette couche que tomberait le plan du drainage, n'ajoutant à peu près rien à la perméabilité du sous-sol.

En réservant le drainage pour certains cas particuliers, où il pourrait être vraiment utile, voici comment, en thèse générale, nous comprendrions la marche rationnelle et l'économie du dessalement et de l'amélioration.

Les terres *élevées*, qui ont une épaisse couche végétale assez perméable, isolant bien la couche salée, se sont dessalées à la longue par les pluies; en abaissant le plan d'eau d'écoulement, on étendra cette zone, et, dans

la nouvelle partie conquise, l'irrigation artificielle, au besoin, pourra s'appliquer et aura les meilleurs effets.

La *région moyenne*, qui a été périodiquement submergée, est beaucoup plus chargée de sel, la couche argileuse est plus mince : on la dessalera par une submersion complète de 2, 3 ou 4 années; on formera des cuvettes en relevant la terre en bourrelets sur les bords, entre de nombreux fossés d'écoulage; on cultivera du roseau, du triangle, pour couvrir les frais d'arrosage et de renouvellement de l'eau; plus tard, on en fera des prairies grossières, qui permettront de tenir le sel à l'écart par l'ombre de la végétation et par des irrigations attentives. Il est peu probable qu'on puisse jamais passer normalement à des cultures plus avancées, comme celle des céréales; le sel reparaîtrait bientôt, et il faudrait recommencer la submersion : cette zone semble donc condamnée fatalement aux cultures arrosées à perpétuité. Il faudra organiser un système d'arrosage suffisamment prompt et énergique, pour pouvoir couvrir le sol d'une nappe d'eau au premier souffle des vents secs; sans quoi la terre, tassée par l'arrosage, non divisée par les binages, laisserait remonter le sel, et la sansouïre rongerait bientôt, comme une lèpre, de vastes surfaces de gazon. On essayera d'arroser par couches minces, pour colmater et remplacer un peu l'engrais, sans rouiller les herbes. Pour évacuer l'eau, il faudra recourir, non pas au drainage, mais à l'emploi des rigoles ouvertes, faciles à curer, profondes et très-rapprochées, divisant le terrain en partènements nombreux. On proscrira le système des *ados*.

La *zone inférieure* sera livrée à la production continue du roseau, du triangle, etc. Pour faire l'usage le plus économique des eaux de lessivage ou d'arrosage, on pourra probablement entretenir le niveau constant des marais avec ces colatures très-faiblement saumâtres, qui sont, nous l'avons vu, sans effet sur les terres continuellement submergées: de cette façon, on réduira au minimum le cube des eaux d'arrosage.

Dans chaque bassin, la division en trois zones se fera bien facilement d'après la cote moyenne du canal collecteur d'écoulage.

De 0 à + 0^{m},50 environ au-dessus du niveau moyen de la mer, on fera des marais constants; de + 0^{m},50 à 1^{m},25, on aura la zone moyenne ou des prairies grossières; au-dessus de 1^{m},25, surtout vers 1^{m},50 et 2 mètres, on pourra cultiver les céréales, luzernes, etc.; au-dessus de 2 mètres, on doit obtenir toutes les cultures compatibles avec le climat de la Camargue.

L'absence de main-d'œuvre, d'engrais, etc., ne rendra cette transformation ni rapide ni facile; l'immigration qui doit fournir la main-d'œuvre sera fort lente, et, si l'on en juge par les exemples déjà cités, on n'aperçoit pas même fort bien à quelle époque ce mouvement se prononcera. Il serait peut-être sage de ne pas trop compter sur lui, et de chercher ailleurs des solutions plus immédiates.

Emploi des machines agricoles. — Pour suppléer, en attendant, aux bras qui manquent, il faudra considérablement développer l'emploi des machines en Camargue. Il vient de s'opérer de ce côté, déjà depuis deux ou trois années, une révolution des plus heureuses dans les habitudes du pays.

Les faucheuses Wood, Sprague ou Samuelson s'emploient couramment aujourd'hui en Camargue; elles exigent deux chevaux et font en un jour, avec 20 francs de dépense maxima, le fauchage de 4 hectares, remplaçant le travail de 12 hommes et une dépense du double au moins.

Les moissonneuses Samuelson, Hornsby ou Howard ne tarderont pas, sur leurs traces, à entrer dans la pratique la plus usuelle, en affranchissant les propriétaires des services des *gavots* ou ouvriers étrangers, dont les exigences ne connaissent souvent pas de bornes.

Les batteuses à vapeur ou à manége commencent à se substituer au procédé barbare du *dépiquage* par les chevaux; des entrepreneurs se chargent de ce travail au prix de faibles redevances de 5 pour 100 payées en nature.

Les houes et les râteaux à cheval, les charrues, les herses, les rouleaux les plus perfectionnés, s'emploient tous les jours davantage.

Les semoirs Garrett sont parfaitement appréciés : avec la cherté croissante de la main-d'œuvre, du prix de la journée, qui atteint facilement 4 et même 5 francs, pour résister à l'invasion des mauvaises herbes, un des fléaux de la Camargue, pour faire économiquement certaines façons indispensables, il faut recourir aux appareils de sarclage, de binage, de scarification ou de buttage à traction de chevaux : il devient pour cela indispensable de *semer en lignes* la garance, le chardon, le blé lui-même, et les semoirs donnent la solution toute prête de ce problème.

On veut aller plus loin encore : comme on trouvera bientôt plus facilement des *mécaniciens* que des *laboureurs*, on se propose d'appeler la vapeur à concourir aux travaux de l'agriculture en Camargue.

Labourage a vapeur. — Elle doit être en effet la terre classique du labourage à vapeur, parce que la main-d'œuvre est chère ou manque, que le sol est tout prêt, tout nivelé, tout épierré, que la grande propriété y règne, et que les animaux de trait souvent sont impuissants à travailler cette terre trop compacte ou trop desséchée, ou dans l'impossibilité de se mouvoir sur les terres submergées.

On possède aujourd'hui un certain nombre de systèmes mécaniques qui résolvent assez bien le problème du défoncement, de la pulvérisation et du retournement du sol; nous citerons les principaux.

La *piocheuse Ganneron* se compose d'un arbre portant des pioches et mû par une locomobile; elle attaque la terre sur $1^{m},80$ de largeur et scarifie très-bien à $0^{m},27$ de profondeur; elle fait 0 hectare 75 par jour, et le travail revient à 80 francs l'hectare.

La *charrue-bêche rotatoire de Comstock* remue le sol à 0^m,20 de profondeur et sur 0^m,90 de largeur, en préparant jusqu'à 2 hectares et demi par jour.

Pour les labours difficiles et coûteux dans les terres denses de la Camargue, les appareils puissants à vapeur d'Howard, de Fowler ou d'Aveling et Porter doivent faire merveille.

Grâce à l'initiative intelligente de M. Charles Digoin, ancien élève de l'École Centrale, ce mode de culture est introduit aujourd'hui dans l'île et mérite de s'y fixer pour toujours.

Ces appareils à vapeur se ramènent à deux types principaux, suivant qu'ils comprennent, ou une seule locomobile ou locomotive avec poulies de renvoi pour établir le va-et-vient, ou deux locomobiles conjuguées, attirant de l'une à l'autre les charrues, cultivateurs ou autres engins à bascule du travail de la terre. Dans le système Howard, la poulie motrice a son axe horizontal; dans le système Fowler, l'axe est vertical. C'est le système Fowler que MM. Aveling et Porter ont appliqué à leurs machines *traction-engines*. Pour simplifier les opérations de transport, ces machines sont d'ailleurs de véritables locomotives routières.

Pour les très-grandes applications, les entreprises de labourage à vapeur, le système *à deux machines* est préférable, parce que l'installation du chantier, la mise en train et le temps perdu sont réduits au minimum. Ces machines routières de 14 à 25 tonnes, avec de larges jantes de 0^m,40 à 0^m,50 de largeur, circulent, évoluent à travers des champs labourés, dans des courbes de 6 à 8 mètres de rayon, avec une facilité qu'on se représente difficilement avant d'en avoir été témoin; elles franchissent les sillons, les petits fossés sans encombre, et se mettent en action sans chantier, sans cales, sans préparation d'aucune sorte.

Pour les moyennes et petites propriétés, le système de la *locomotive unique* est préférable, parce qu'il coûte beaucoup moins cher; l'installation est plus longue, mais on dispose de plus de loisirs.

On a simplifié même plus encore le matériel spécial nécessaire, en employant une locomobile ordinaire, actionnant un treuil portatif, commandant par un câble à va-et-vient les charrues avec quatre poulies de renvoi, dont deux à ancres. La locomobile peut s'employer, d'ailleurs, à tous les autres travaux de la ferme : battage et mouture des grains; coupage des pailles, racines, etc.

Voici les prix approximatifs, en temps normal, des divers systèmes de moteurs avec leurs câbles en acier, une charrue, mais sans autres appareils spéciaux de culture :

DÉSIGNATION.	Howard.	Fowler.	Aveling et Porter
Deux locomotives avec 750 mètres de câbles d'acier et une charrue double :	fr.	fr.	fr.
Pour 14 chevaux...............	41,000	42,000	48,000
Pour 10 chevaux...............	35,000	36,000	39,000
Une locomotive avec poulie-ancre automotrice, 750 mètres de câbles et une charrue à bascule :			
Pour 14 chevaux...............	24,000	26,000	»
Pour 12 chevaux...............			»
Pour 10 chevaux...............		23,000	»
Une locomobile ordinaire avec treuil, 150 mètres de câble, charrue à bascule, etc..	16,000	»	16,000

Il faudrait ajouter, pour compléter l'outillage de culture à vapeur, le prix :

D'une charrue défonceuse........................	3,500 fr.
D'un cultivateur................................	2,100
Tonneau d'approvisionnement.....................	1,000
Soit, en surplus...........	6,600 fr.

On peut donc compter, en moyenne, pour l'outillage complet :

Dans le premier cas, sur une dépense moyenne de 42,000 à 52,000 fr., suivant que les machines auront 10 ou 14 chevaux de force ;

Dans le deuxième cas, sur une dépense de 30 à 36,000 francs dans les mêmes circonstances ;

Dans le troisième cas, sur une dépense de 22 à 24,000 francs.

Les dépenses journalières de combustible, huile, personnel, paraissent devoir être :

Dans le premier cas, de 60 à 70 francs ;
Dans le second cas, de 40 à 50 francs ;
Dans le troisième cas, de 30 à 40 francs.

L'intérêt et l'amortissement du capital, en 10 ans, à 12,5 %, donneraient :

	Par an.	Par jour (à 200 jours de travail par an.)
1er cas..............	6,000 fr.	30 francs.
2e cas..............	4,000	20 francs.
3e cas..............	2,750	14 francs.

Ce qui porterait le prix de revient du travail journalier :

Dans le premier système, à 90 ou 100 francs ;
Dans le second système, de 60 à 70 francs ;
Dans le troisième système, de 44 à 54 francs.

Quelle quantité de travail produira-t-on au prix de ces dépenses? Il est très-difficile de le calculer d'avance : le labourage à vapeur n'est pas encore suffisamment entré dans la pratique, et l'on ne peut guère s'appuyer sur les résultats obtenus dans les courts essais des expositions et des concours, qui ne tiennent pas assez compte du temps perdu aux changements de place, des difficultés de marche dans les terres humides, des bandes laissées aux bouts des champs, etc.

La densité, la compacité et la résistance des terres varient à l'infini, et, pour avoir des termes comparables, il est à désirer que *l'usage des dynamomètres* s'introduise davantage autre part que dans les concours agricoles : si l'industrie du labourage à vapeur se fonde en France, les données du dynamomètre seront à chaque instant nécessaires pour l'estimation équitable du prix de tout travail de cette nature.

Les renseignements recueillis ailleurs donnent des évaluations assez variables de l'économie réalisée par l'emploi de la vapeur : ici, on l'a trouvée de 40 °/₀ sur l'ancien prix de labourage par les animaux; là, de 60 °/₀ : il est difficile de transporter ces chiffres *à priori* dans les terrains de la Camargue; de l'expérience faite d'une certaine quantité de travail exécuté dans l'île, on peut conclure cependant :

Que l'appareil de Fowler, marchant à une vitesse de 1^{m},30 et même 1^{m},40, peut défoncer les terres à 0^{m},40 et même 0^{m},45 de profondeur, sur une bande de 0^{m},28 de largeur; ce qui donne 1400 mètres par heure et environ 1 hectare 5 par journée de 12 heures, en comptant 1 heure pour la mise en place.

La journée de l'appareil revenant à 100 francs (sans le bénéfice de l'entrepreneur), c'est à 66 francs que reviendrait le travail, et à 80 francs pour l'entreprise à forfait, par hectare ; exécuté par des animaux, le même travail exigerait l'emploi de dix bœufs ou mulets et de trois hommes, faisant 1/3 d'hectare par jour, et la façon de l'hectare reviendrait à 108 francs environ : ce serait donc 40 °/₀ d'économie brute, que le bénéfice de 20 °/₀ réclamé par l'entrepreneur pourrait bien réduire à 20 °/₀.

Les labours moins profonds à 0^{m},20 ou 0^{m},25, les scarifiages s'exécutent avec des charrues à 2 et 3 socs, marchant à la même vitesse de 1^{m},30 ou 1^{m},40 et prenant une bande de 0^{m},50 à 0^{m},75 de largeur; la surface travaillée, suivant la résistance très-variable de la terre et les cultures précédentes, est de 2,350 mètres carrés ou 3,500 mètres carrés par heure, soit 2 hectares, 5 ou 3 hectares 5 par jour, suivant le nombre de socs, coûtant 40 fr. ou 28 fr. 50 (sans le bénéfice de l'entrepreneur), travail qui revient à 50 et 40 fr. avec les animaux.

Cette économie est appréciable déjà, surtout quand il s'agit de grandes surfaces à cultiver, de 2 à 300 hectares et plus, comme on les rencontre dans les grands domaines de la Camargue. Mais ce qu'on appréciera plus encore, c'est de pouvoir étendre les cultures sérieusement empêchées par le manque de bras; on pourra faire des labours en temps

utile, même lorsque la terre trop humide ne peut laisser passer les animaux, ou, trop sèche, résiste à tous leurs efforts, ce qui est le cas fréquent de la Camargue.

Pour un ensemble de 5 à 600 hectares à cultiver, l'appareil double sera fort avantageux ; mais l'appareil simple sera préféré par des propriétaires ayant 2 ou 300 hectares à cultiver, pour son prix moins élevé, sa dépense moins forte, l'emploi meilleur du combustible avec une seule machine toujours en marche, sans les arrêts du double appareil, qui provoquent des refroidissements et des pertes de vapeur importants. Cet avantage sera compensé, il est vrai, par la nécessité de faire traîner la locomobile en place par des animaux, et par le temps perdu à l'installation des ancres ; mais, dans tous les cas, le concours d'un certain nombre d'animaux de trait est toujours indispensable pour le transport de l'eau, du combustible, les manœuvres du câble, le labourage des parties inabordables aux machines ; quant au temps perdu, il ne saurait affecter de plus de 25 °/₀ le rendement de l'appareil, d'autant plus que le propriétaire aménagera ses partènements, *son chantier*, pour faire les plus grands espaces possibles sans changer la position des machines : il peut arriver à comprendre ainsi, avec 1700 mètres de câble, un lot de 400 mètres de côté, soit de près de 16 hectares, représentant le travail de près d'une semaine.

Dans ces conditions, les prix que nous avons évalués plus haut, majorés de 25 °/₀ pour tenir compte du temps perdu, seront modifiés ainsi qu'il suit :

Les défonçages à $0^{m},40$ de profondeur, qui coûtaient, faits par les animaux, 100 francs, et, à la vapeur, avec *deux machines*, 80 francs à l'entreprise ou 66 en régie, reviendraient, avec *une machine*, au propriétaire, en moyenne à $\frac{50^f}{1^h,5 \times 0,75} = \frac{50^f}{1,125} = 44$ francs ;

Les labourages qui valaient 50 francs, à $0^m,25$ et 2 socs, descendraient à

$$\frac{50^f}{0,75 \times 2,5} = \frac{50^f}{1,875} = 27^f,25 ;$$

Les labourages estimés 40 francs, à $0^m,20$ et 3 socs, reviendraient à

$$\frac{50^f}{0,75 \times 3,5} = \frac{50^f}{2,625} = 19^f,00.$$

Nous rencontrons donc bien là une solution très-économique, celle pour laquelle l'expérience se prononcera à coup sûr très-favorablement dans le cas de la Camargue.

DRAINAGE A VAPEUR. — Il est un autre travail que ces instruments puissants pourront seuls entreprendre : nous voulons parler du *drainage*

mécanique. Les esprits éclairés et expérimentés rejettent le drainage à cause de son prix trop élevé, de 3 à 400 francs, pour la Camargue. Dans les cas où il peut être utile, on pourrait réduire sans doute considérablement la dépense, en employant les charrues-draineuses à vapeur, construites par M. Fowler. Ces charrues, pourvues d'un sep très-élevé et très-fort, portent, au lieu de soc, un cône qui ouvre souterrainement l'alvéole des drains. En attachant à la suite un chapelet de drains enfilés sur un câble, on peut les engager presque sans main-d'œuvre, et établir sans tranchées les lignes de drains sans manchons, par séries de 50 mètres; dans ces conditions, la dépense de 3 à 400 francs se réduirait par hectare à la dépense des drains, soit à 75 ou 80 francs, et à la pose à la machine, soit à 20 ou 25 francs, soit en somme à 100 francs, ou à 25 °/₀ du prix ordinaire. Seulement, avec les terres fines de Camargue, la présence des manchons serait peut-être plus nécessaire.....

Dans les terres argileuses de bonne tenue, on est arrivé même de la sorte à supprimer les drains et à faire des canaux souterrains, sans le revêtement de tuyaux. Si, en Camargue, les drains, manchonnés ou non, doivent s'obstruer, on pourrait tenter néanmoins avec les machines de faire un travail très-utile et très-économique.

Dans les parties où la couche arable imperméable est très-épaisse, étant donnés les partènements arrosés, entourés de canaux et rigoles d'écoulage très-rapprochés, et encaissés par des bourrelets qui obligent l'eau d'arrosage à filtrer au travers des berges avant de s'écouler, pour vaincre cette imperméabilité de la terre compacte, nous proposerions de *larder* le terrain sous-jacent de canaux exécutés par la machine à drainer, sans garnissage de drains; on les exécuterait soit à 5 mètres, soit à 2 mètres de distance; vu le bas prix de ce travail à la machine, on le renouvellerait tous les ans, s'il le fallait, et l'on arriverait ainsi à *labourer*, à *perméabiliser le sol* dans les parties que la charrue n'atteint jamais; on créerait artificiellement de larges canaux qui n'existent pas dans les terres compactes, et qui faciliteraient la circulation et l'égouttage de l'eau dans les canaux d'écoulage.

Ces canaux pourraient être exécutés soit dans les cultures en lignes, soit dans les prairies, sans bouleverser en rien la surface : qu'importerait la coupure du sol par un sep tranchant et mince?

Dans un hectare, la longueur de tranchée souterraine serait, à 2 mètres de distance, de 5,000 mètres courants, et, à 5 mètres d'écartement, de 2,000 mètres courants. En supposant un cheminement de 1 mètre par seconde, on ferait, dans une journée de 10 heures, 36,000 mètres courants, soit dans le premier système 7 hectares, dans le second 18 hectares de surface; le prix de revient, même avec deux locomotives, ne dépasserait pas 100 francs par jour, soit 15 francs ou 6 francs par hectare : ce qui ne représenterait même pas l'intérêt, sans amortissement, des

frais de drainage ordinaire. La dépense serait moitié moindre avec l'appareil simple; il serait important d'essayer de ce moyen d'amélioration du sous-sol, le seul applicable aux terrains pauvres de la Camargue.

Les charrues à vapeur *rigoleuses* permettraient aussi de faire à la surface, avec une notable économie, la plupart des canaux de troisième ordre, d'arrosage et d'asséchement. Il faut chercher, en un mot, à faire intervenir à toute occasion cet utile et précieux auxiliaire.

Voilà les solutions que l'on peut proposer pour rendre utilement applicables et même possibles les améliorations d'ensemble que nous allons essayer d'envisager. Bien que ce mode d'exposition semble peu naturel, il nous a paru nécessaire d'entrer d'abord dans l'examen des moyens d'exécution pour répondre d'avance aux objections ordinaires, tirées de ce qu'avec ses ressources actuelles la Camargue ne peut pas entreprendre beaucoup plus qu'elle ne l'a fait jusqu'ici.

Étant donné qu'on pourra faire davantage avec des moyens plus puissants et plus perfectionnés, toujours disponibles, nous allons examiner ce que l'on pourra entreprendre dans l'ensemble.

CAMARGUE.

DÉPENSES D'AMÉLIORATION ET PLUS-VALUES. — Au lieu de procéder en quelque sorte par synthèse, comme l'ont fait tous les projets, en proposant une série de travaux et en justifiant plus ou moins la mesure par des calculs de plus-values faits sans prudence, renversons la méthode, *procédons* par analyse, recherchons ce qu'on peut bien réellement attendre de la Camargue, puis dégageons de cette évaluation l'importance des travaux et les dépenses qu'on peut raisonnablement proposer au pays.

Nous avons déjà une fois calculé en masse, sur les déclarations de la Commission d'enquête, à 21 millions de francs la plus-value que peut acquérir directement la Camargue.

En prenant, en effet, pour base le projet de M. Bernard, sur les 15,000 hectares de terres hautes, 5,000 échapperont toujours par leur position, leur altitude, à l'arrosage naturel; les 10,000 autres gagneront 200 francs, par l'écoulage actuel un peu amélioré, et par la possibilité d'une irrigation mécanique pour quelques cultures avancées. Dans les terres moyennes, 9,250 hectares seront irrégulièrement arrosés (ce que beaucoup considèrent comme un avantage illusoire), ils pourront valoir 1,000 francs l'hectare; mais ces terres sont les meilleures des pâturages actuels, et valent déjà plus de 600 francs : elles gagneront donc 3 à 400 francs. Il restera 10,600 hectares régulièrement arrosés, qui vaudront de 12 à 1,500 francs, gagnant environ 1,000 francs sur le prix moyen actuel de 350 francs; encore doublons-nous, en cela, les chiffres prévus par la Commission d'enquête de 1860!...

Les marais actuels, valant en moyenne 550 francs, vaudront 900 francs à 1,000 francs, gagnant 4 à 500 francs.

Les étangs donneront de faibles produits roseliers, 10 à 15 francs, et vaudront 150 francs au lieu de 50 francs, gagnant 100 francs.

Nous aurons alors, pour la plus-value générale, donnée par un projet comme celui de M. Bernard :

Terres hautes		5,000	hectares..	×	0	=	0 fr.
		10,000	hectares..	×	200f	=	2,000,000
Terres moyennes.	Irrégulièrement arrosées.	9,250	hectares..	×	350	=	3,237,500
	Régulièrement arrosées..	10,600	hectares..	×	1000	=	10,600,000
Marais		7,800	hectares..	×	500	=	3,900,000
Étangs		6,700	hectares..	×	100	=	670,000
En dehors du projet		23,000	hectares..	×	0	=	0
Surface totale de l'île		72,350	hectares;	plus-value..			20,407,500 fr.

Nous arrivons ainsi, par une autre analyse, à un chiffre de 20,400,000 fr., pour la plus-value générale de l'île, qui concorde assez bien avec l'estimation de 21 millions produite par la Commission d'enquête de 1860. Ce chiffre, frappé d'un certain coefficient de sécurité, marque la mesure des sacrifices relatifs que l'on peut raisonnablement demander pour l'œuvre d'amélioration; il est en même temps le *criterium* qui permet de juger d'un coup d'œil le côté peu pratique de certains projets aussi ruineux que ceux de M. Duval, par exemple.

Dans la limite du possible, nous ne nous donnons pas la mission de faire un nouveau projet: il en existe déjà une quantité suffisante, et, parmi eux, il en est qui, réduits à de plus justes proportions, en subissant les modifications que l'expérience ou les circonstances recommandent, peuvent être fort utilement repris et mis en œuvre.

Ainsi l'occasion se présente aujourd'hui bien favorable de faire faire un pas en avant à cette question, et d'attaquer une solution partielle : des syndicats s'organisent en ce moment dans un but spécial, qui est un des côtés de la question d'amélioration : en vue de l'*assèchement de trois grandes zones*, qui comprennent la partie la plus importante de la Camargue.

Les hommes intelligents et dévoués qui seront à la tête de ces entreprises ne voudront pas borner là leurs efforts; ils sentiront qu'il y a plus à faire, ils presseront les associés réunis autour d'eux de compléter l'œuvre commencée; habitués enfin à s'entendre, à combiner leurs forces, tous les intéressés pourront former un syndicat général qui prendra l'initiative des mesures complémentaires, pour l'arrosage et la mise en valeur, en adoptant le plan le plus prudent et le plus sage.

Actuellement sont votés les crédits et les fonds nécessaires pour l'exécution de trois grands *canaux d'assèchement*, écoulant dans le Valcarès les eaux de trois bassins, et bientôt rien ne s'opposera plus à l'exécution de cette première partie de l'œuvre.

Ces trois groupes sont les suivants :

Syndicat de Fumemorte, comprenant..............	9,100 hectares.
— de Sigoulette..........................	3,600 —
— de Pont-de-Rousty......................	15,700 —
Ensemble............	28,400 hectares.

Les travaux projetés doivent améliorer les écoulages de ces régions, faciliter la mise à sec des marais, sans toutefois modifier l'économie actuelle au point de vue de l'exploitation roselière.

Avec les ressources limitées dont on dispose actuellement, en réunissant les subventions de l'État et du département et les cotisations des particuliers, il n'est pas question de prendre le problème par la solution la plus large, d'abaisser artificiellement le niveau du Valcarès; du reste,

les intéressés ne le réclament pas; on profitera seulement, pour débarrasser les terres des eaux zénithales d'automne, de l'abaissement naturel du Valcarès à la fin de l'été, et de ses écoulages naturels sur la mer; de plus, les marais, après la récolte, concourront à emmagasiner les eaux pluviales.

Quand ce premier service sera assuré, on pourra songer à faire plus encore et à entreprendre de l'arrosage. Alors, ou bien on reprendra l'idée de M. Surell et les solutions morcelées; chaque syndicat, après avoir fait son canal d'asséchement et les émissaires secondaires, fera de même un canal spécial d'amenée de l'eau du Rhône ou *roubine principale*, avec des filioles secondaires desservant les points principaux du groupe;

Ou bien, ce qui vaudrait infiniment mieux, pour obtenir un niveau d'arrosage plus élevé, les trois syndicats, en combinant leurs efforts ou en se fusionnant, reprendront un des projets les plus simples et des mieux entendus, comme le premier projet de M. Bernard, quelque peu modifié et ajusté aux circonstances nouvelles: on ferait une prise unique, soit vers Fourques, soit vers l'île de la Cappe, puis le canal unique se bifurquerait pour arroser à l'est et à l'ouest du Valcarès les terres des trois syndicats; ces deux branches, plus ou moins parallèles aux deux bras du Rhône, rencontreraient sur leur chemin le plus grand nombre des 48 anciennes roubines, plus ou moins normales au fleuve, et qui, pour la plupart, sont actuellement sans emploi, parce que leurs plafonds sont au-dessus de l'étiage; ces roubines constitueraient presque sans frais tout le réseau des émissaires secondaires, avec la majeure partie des filioles tertiaires faites autrefois pour distribuer l'eau à chaque mas.

Les dépenses seraient réduites ainsi dans une proportion considérable; on utiliserait au mieux l'œuvre importante des temps passés, et l'on recueillerait, aux moindres frais et sans retard, les fruits de l'œuvre nouvelle.

En ménageant soigneusement les pentes, on peut admettre, d'après les évaluations de M. Bernard, que:

12,000	hectares	seront arrosés, même à l'étiage;
4,000	—	assez régulièrement arrosés, au moins *huit* fois sur *dix*, par les excédants de niveau des eaux dans la période des arrosages;
3,250	—	seront plus irrégulièrement arrosés.

On donnerait par là une satisfaction fort large aux besoins des propriétaires; quant aux terres plus hautes, qui échappent à tout arrosage naturel, elles sont capables de porter des cultures industrielles avancées, assez rémunératrices pour pouvoir payer, dans certains cas spéciaux, les frais d'un arrosage artificiel; on dispose du reste pour ces terrains de cultures (blé, avoine, garance, chardon, colza, luzerne) qui se passent fort bien d'arrosage.

Dépenses d'exécution. — Sans entrer dans le détail de ce nouveau projet, nous pouvons estimer approximativement, d'après les études antérieures, les dépenses auxquelles il conduirait; n'oublions pas que les considérations budgétaires dominent toute cette question, et que c'est devant elles que sont tombés jusqu'ici presque tous les projets.

Asséchement. — Rappelons que, dans son projet de 1859, beaucoup moins vaste que celui de 1865, M. Bernard entreprenait le *desséchement* de 36,900 hectares, au prix d'une dépense de 1,880,000 francs, portée à 2,400,000 francs par M. Perrier.

L'idée du *desséchement* est peu goûtée en Camargue, on lui préfère de beaucoup le simple *asséchement;* à cet égard, les intéressés seront satisfaits par les projets actuels des trois syndicats de Fumemorte, de Sigoulette et du Pont-de-Rousty; les dépenses monteront à 800,000 francs environ :

300,000 francs par le département;
150,000 francs par l'État;
350,000 francs par les particuliers.

Ces travaux touchent 28,400 hectares, ce qui fait ressortir à 28 francs la dépense moyenne par hectare, et à 12f,30 seulement la charge des particuliers, défalcation faite des subventions.

Arrosage. — M. Bernard se proposait d'arroser avec une régularité suffisante 16,000 hectares, et plus éventuellement un excédant de 3,250 hectares; il estimait la dépense à 1,720,000 francs, et, avec les additions de M. Perrier, à 2,100,000 francs pour les canaux principaux.

La première zone (de 16,000 hectares) supportait de ce chef, en moyenne par hectare, une dépense de 112f,50.

La seconde zone, de 3,250 hectares, payait 77f,80; en supposant la première zone seule intéressée et seule chargée de cette dépense, il lui incombait une dépense de 131f,25 par hectare.

Routes agricoles. — M. Bernard projetait enfin trois routes agricoles, allant d'Arles à Saint-Gilles, à Faraman et aux Saintes-Maries, pour la somme de 900,000 francs. Cette dernière route, comprise pour 500,000 fr. dans cette dépense, doit être, d'après un vote du Conseil général, entreprise par le département; il ne resterait donc à inscrire que la dépense de 400,000 francs afférente aux deux autres routes, ce dont le département devrait bien être amené à se charger encore.

Dans son système d'irrigation, M. Bernard projetait 83,700 mètres de canaux principaux (avec trois embranchements) à l'ouest du Valcarès, et 15,900 à l'est; le concours des roubines existantes pourra dispenser de ces trois embranchements, qui représentent une longueur de 39,000 mè-

tres dans l'évaluation ci-dessus, et une dépense de 200,000 francs environ; il resterait donc à trouver 1,900,000 francs pour faire ce travail. Cette somme ne dépasse pas le montant des subventions que l'État peut et sait accorder aux entreprises de cette nature; il ne paraît donc pas excessif de la lui demander.

Et il resterait aux particuliers des charges encore suffisamment lourdes à supporter : elles se composent des dépenses du premier établissement et des dépenses annuelles d'entretien. Pour pouvoir les comparer, nous calculerons en capital, selon l'usage consacré, ces dépenses annuelles nécessaires, qui sont la conséquence et la suite du premier établissement, et sans lesquelles l'œuvre péricliterait et se trouverait compromise.

ACHÈVEMENT DES RÉSEAUX SECONDAIRES ET TERTIAIRES D'ASSÉCHEMENT ET D'IRRIGATION.

Le *réseau secondaire d'asséchement* est compris dans la dépense de 350,000 francs qui incombe aux particuliers dans l'œuvre d'asséchement.

Le *réseau secondaire d'irrigation* peut être considéré comme créé par les roubines existantes, avec les ponts, prises d'eau, distribution en activité; il faut compter cependant pour le curage et la mise en état 10 fr. par hectare dans les parties qui devront être arrosées et plus complétement écoulées : par conséquent, pour créer les réseaux tertiaires et compléter et améliorer, s'il est besoin, les réseaux secondaires, il faut compter, au plus bas, une dépense de 100 francs par hectare, représentant, pour le partènement d'un hectare, le prix de 100 mètres de fossés d'asséchement et de 100 mètres de fossés d'arrosage, exécutés à 1 mètre cube de section.

Cette dépense du réseau tertiaire ne s'appliquera qu'aux terres arrosées, en en exceptant les marais, qui n'ont pas besoin d'un réseau de distribution aussi complet; les terres hautes, non arrosées, compléteront leurs moyens d'écoulement avec une dépense d'environ 25 francs par hectare.

ENTRETIEN ANNUEL.

1° *Des canaux d'asséchement.*

Le curage et le faucardement des fossés d'asséchement représentent, dans les environs d'Arles, une dépense annuelle de 0f,06 par mètre carré de plafond, ou environ 2 °/o de la dépense de premier établissement : ce serait, pour 800,000 francs de premier établissement, 16,000 francs de dé-

pense annuelle pour 28,500 hectares : soit, par hectare, 0f,56, et en capital 11f20 pour les canaux principaux.

2° *Des canaux d'arrosage.*

L'entretien et le curage des canaux principaux d'arrosage représentent annuellement 4,5 % de la dépense primitive : soit, pour 1,900,000 fr. de l'établissement, 85,500 francs de dépense annuelle, représentant une dépense par hectare de 5f,30 ; si l'on suppose cette dépense supportée par les seuls 16,000 hectares de la zone régulièrement arrosée, le capital correspondant serait de 106f,00.

Les dépôts se faisant à peu près exclusivement sur le parcours des canaux principaux, on peut réduire à 2 % les frais d'entretien des canaux secondaires et tertiaires. Comme canaux secondaires, les roubines de la Camargue représentent un développement de 280 kilomètres, dont 200 kilomètres compris dans le projet, soit une surface de plafond de 200,000 mètres carrés ; et à 0f,06 par mètre carré, une dépense d'entretien de 12,000 fr. pour 16,000 hectares ; et par hectare, 0f,75 ; et en capital d'entretien, 15f,00.

Par hectare, les filioles tertiaires représentant une dépense de 50 fr., l'entretien coûtera 1f00 : ce qui, converti en capital, donne 20 francs.

INTÉRÊTS ET FERMAGES PERDUS.

Pour l'exécution des travaux et la mise en culture, il faut compter sur une période de sept années : pendant la moitié de ce délai, les intérêts des sommes avancées seront perdus, aussi bien que les frais d'entretien.

Les travaux d'asséchement n'apporteront que peu de trouble aux cultures ; mais les opérations d'arrosage et surtout de dessalement, en détruisant les produits actuels du sol, entraîneront des pertes de fermages pendant au moins trois ou quatre années ; comme cela s'applique surtout aux terres moyennes d'*enganes,* rendant 10 à 15 francs par an, on comptera de ce chef une perte de 40 francs par hectare.

Ces travaux et ces dépenses ne s'appliquent et ne se répartissent pas également ; nous devons distinguer plusieurs catégories :

1° Les terres basses ou marais supporteront les frais d'écoulage du réseau principal et du réseau secondaire, mais n'auront rien à dépenser pour le réseau tertiaire.

Ces marais seront arrosés, ou plutôt auront leurs eaux renouvelées,

ce qui sera loin d'exiger un débit d'un litre par hectare et par seconde : le tiers sera largement suffisant; il semble juste qu'ils ne supportent que cette part des frais de premier établissement, ou que les 6,000 hectares de marais comptent pour 2,000 seulement dans la répartition des dépenses d'arrosage.

Il faudra, dès lors, compter que les frais précédemment calculés se répartissent sur 12,000 hectares seulement; ce qui donnera :

Pour les frais d'établissement du réseau principal ;

$$\frac{1,900,000^{f}}{12,000^{f}} = 158^{f},35;$$

et pour l'entretien des canaux principaux :

$$\frac{85,500^{f}}{12,000} = 7^{f},125,$$

représentant un capital de $142^{f},50$;

et pour l'entretien des canaux secondaires :

$$\frac{12,000^{f}}{12,000} = 1^{f},00,$$

ou un capital de 20 francs.

Chaque hectare de marais payera le tiers de ces frais ainsi calculés.

2° Les terres moyennes, sur une surface de 10,000 hectares environ, seront arrosées et asséchées; elles payeront toutes les dépenses prévues, avec la correction que nous venons de signaler ci-dessus.

3° Les terres hautes et celles des terres moyennes qui, par leur niveau relativement élevé, ne pourront profiter que de l'amélioration des écoulages, acquitteront les frais spéciaux à ce seul service; dans certains cas, elles pourront en améliorer notablement le fonctionnement au prix d'une dépense de 25 francs par hectare.

Pour la répartition des dépenses, on obtiendra donc les résultats suivants :

NATURE DES FRAIS.	SUBVENTION DE L'ÉTAT ET DU DÉPARTEMENT.		DÉPENSES DES PARTICULIERS.					
			PREMIER ÉTABLISSEMENT.		ENTRETIEN CAPITALISÉ.		ENTRETIEN ANNUEL.	
	Total.	Par hectare.	Total.	Par hectare.	Total.	Par hectare.	Total.	Par hectare.
	fr.	fr. c.	fr.	fr. c.	fr.	fr. c.	fr.	fr. c.
1° *Terres hautes et moyennes.* — Asséchées seulement. — (12,500 hectares.)								
Asséchement. Canaux principaux		16 00						
Canaux secondaires				12 30		11 20		0 56
Canaux tertiaires				25 00		10 00		0 50
Intérêts et entretien perdus pendant 3 ans 1/2				10 25				
Totaux partiels	200,000	16 00	594,375	47 55	265,000	21 20	13,250	1 06
2° *Terres moyennes.* — Asséchées et arrosées. — (10,000 hectares.)								
Asséchement. Canaux principaux	160,000	16 00						
Canaux secondaires				12 30		11 20		0 56
Canaux tertiaires				50 00		20 00		1 00
Arrosage. Canaux principaux	1,583,000	158 35				142 50		7 125
Canaux secondaires				10 00		20 00		1 00
Canaux tertiaires				50 00		20 00		1 00
Intérêts et entretien perdus en 3 ans 1/2				57 10				
Fermages perdus				40 00				
Totaux partiels	1,743,500	174 35	2,194,000	2.9 40	2,138,000	2.3 70	106,900	10 69
3° *Terres basses : Marais.* — Asséchés et arrosés. — (6,000 hectares arrosés comptant pour 2,000.)								
Asséchement. Canaux principaux		16 00						
Canaux secondaires				12 30		11 20		0 56
Arrosage. Canaux principaux		52 78				47 50		2 38
Canaux secondaires				3 33		6 66		0 33
Intérêts et entretien perdus				14 20				
Totaux partiels	412,680	68 78	179,000	29 83	392,400	65 36	19,620	3 27
Routes agricoles	900,000	»	»	»	»	»	»	»
Totaux	3,256,180 f.	»	2,967,357 f.	»	2,795,400 f.	»	139,770 f.	»
			5,762,775 fr.					
	9,013,955 fr.							

Ainsi, les dépenses totales de premier établissement seraient de :

3,256,000 fr. dont	2,056,000 fr. pour l'État (assèchement et arrosage); 1,200,000 fr. pour le département (assèchement et routes);
2,968,000 fr.	pour les particuliers ; en tout :
6,224,000 fr.	

Capital total nécessaire. — L'entretien annuel de l'ensemble représenterait une somme de 140,000 francs, ou l'intérêt d'un capital *fictif* ou *virtuel* de 2,800,000 francs. Ce ne sont point là les seules charges qui pèseront sur les particuliers : pour leur permettre de faire une *culture intensive*, rémunératrice de toutes les charges nouvelles, il faut que la propriété privée dispose d'un capital considérable pour la mise en valeur, l'acquisition du cheptel, du bétail nécessaire, etc. On ne peut estimer à moins de 250 ou 300 francs par hectare de terres hautes et moyennes la somme qu'il faut réunir dans ce but, comme nous l'expliquerons tout à l'heure.

Pour les 12,500 hectares de terres hautes, et les 10,000 hectares de terres moyennes, soit 22,500 hectares, de ce chef, il ne s'agit pas de trouver moins de 6,760,000 francs, ce qui porterait à 13 millions environ le crédit ou le capital effectif nécessaire à l'œuvre dont nous nous occupons.

Le département et l'État ayant déjà voté environ un million pour des travaux antérieurement résolus, il resterait, après approbation du projet total, 12 millions à trouver. Avant de rechercher quelle combinaison financière pourrait aplanir les voies, examinons quel parti les intéressés pourront tirer de la création supposée faite, quels bénéfices ils pourront espérer, et par suite quel fond solide l'entreprise offrirait aux prêteurs.

Cultures et assolements. — Les terres basses resteront ou seront mises en marais, à niveau constant, et à renouvellement d'eau ; la mise à sec sera rendue facile par les écoulages assurés. Ces terres donneront d'assez bons produits en roseaux, *sagnes*, etc.

Les terres moyennes, livrées à des submersions suivies pendant trois ou quatre ans, se dessaleront suffisamment pour donner des prairies grossières, dans le genre des prairies obtenues aux Partisans, à la Reïranglade ou aux plaines de Beaucaire. Elles ne seront fumées que très-médiocrement pendant la *dépaissance*, les fumiers obtenus pendant la stabulation nocturne seront réservés pour la culture plus avancée des terres hautes. On fera sur ces prairies l'élevage des bœufs, peut-être des moutons, s'ils ne souffrent pas trop de la *gamige*, et on recueillera la nuit dans les étables les trois quarts des fumiers produits. On fauchera le surplus pour la nourriture des animaux de trait.

Avec les bonnes terres hautes, on fera de la culture intensive, en adop-

tant des assolements à 10 ou 12 ans, et des cultures qui économisent le plus possible la main-d'œuvre, ou admettent le mieux le travail des instruments et des machines.

Les prairies permanentes, qui bien fumées donneraient presque sans main-d'œuvre de bons produits, capables de payer l'arrosage artificiel, ne paraissent pas possibles, car elles ne tarderaient pas à être envahies par les herbes parasites, et devraient être souvent labourées et retournées; chacune de ces façons entraînerait des pertes de production considérables pendant deux années au moins, et le système deviendrait en définitive peu rémunérateur. La culture de la luzerne à durée limitée, mais à rendement plus considérable et plus rapide, semble mieux appropriée aux terrains des plaines du Midi, qu'on dispose ou non d'arrosage naturel.

On pourrait adopter l'assolement suivant en Camargue, à 10 ans ou même à 12 ans :

Garance. . . . . 3 ans,
Luzerne. . . . . 5 ans,

peut-être même 7 ans (en ne l'arrosant pas et en rechargeant les vides qui pourraient se produire).

Céréales. . . . . 2 ans.

Dans cet assolement, on pourrait intercaler à volonté la culture du chardon, du colza, de l'avoine, toutes cultures qui ne demandent pas d'arrosage. Il est important d'alterner dans tous les cas les cultures en lignes et les cultures étouffantes, pour tuer les mauvaises herbes, si envahissantes en Camargue.

Dans ce système, examinons ce que pourraient être l'exploitation et le rendement d'un domaine-type de 500 hectares, représentant la composition moyenne de la Camargue, et comprenant par conséquent :

Terres hautes.	100[h]	500 hectares.
Terres moyennes (dont la moitié seulement pourra s'arroser).	275[h]	
Terres basses ou marais.	125[h]	

On gardera les prairies grossières non arrosées des terres moyennes pour le *croît*, les prairies plus fines pour l'*engraissement* du bétail; les 275 hectares dont on dispose ainsi suffiront largement à nourrir 200 têtes de gros bétail, qui donneront le fumier nécessaire aux 100 hectares cultivés des terres hautes.

Il faudra certainement, pour entreprendre cette grande culture, s'assurer de tous les moyens les plus économiques et les plus perfectionnés, semoirs, buttoirs, faucheuses et moissonneuses à cheval, et même du concours des charrues et cultivateurs à vapeur.

L'assolement des 100 hectares comprendrait :

25 hectares en garance, chardons, etc.;
55 à 60 hectares en luzerne;
15 à 20 hectares en céréales.

Pour la mise en culture de cette surface, y compris le matériel, les semences, les mains-d'œuvre, en procédant le plus prudemment possible, on ne peut estimer nécessaire un capital d'exploitation ou de roulement de moins de 250 à 300 fr. par hectare; d'un autre côté, pour frais d'achat du troupeau, construction d'étables ou de bergeries, pour l'exploitation des terres moyennes, il ne faut pas compter sur une dépense moindre.

Le domaine a pu coûter au maximum d'achat et d'amélioration, en supposant ses parties estimées en détail :

I. *Terres hautes.* — 100 *hectares.*

Achat à	1200 fr.		=	120,000 fr.
Asséchement à	47	55	=	4,755
Mise en valeur à	300		=	30,000
Prix de revient	1547	55	=	154,755

II. *Terres moyennes.* — 275 *hectares,* se subdivisant en :

1° 125 hectares non arrosés.

Achat	350		=	43,750
Asséchement	47	55	=	5,944
Cheptel	300		=	37,500
Prix de revient	697	55	=	87,194

2° 150 hectares arrosés.

Achat	350		=	52,500
Asséchement, arrosage	219	40	=	32,900
Mise en valeur	300		=	45,000
Prix de revient	869	40	=	130,000

III. *Marais.* — 125 *hectares.*

Achat	50		=	6,250
Asséchement, arrosage	29	80	=	3,725
Prix de revient	79	80	=	9,975

En récapitulant ces dépenses, nous avons :

DÉSIGNATION.	Achat.	Amélioration.	Mise en valeur.	Totaux.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Terres hautes.	120,000	4,755	30,000	154,755
Terres moyennes non arrosées.	43,750	5,944	37,500	87,194
Terres moyennes arrosées. . .	52,500	32,900	32,900	130,400
Marais.	6,250	3,725	»	9,975
Ensemble.	222,500	47,324	100,400	382,324

A cette dépense, il faut ajouter le capital *virtuel*, représentant les frais annuels qui grèvent l'amélioration réalisée :

DÉSIGNATION.	Nombre d'hectares.	Par hectare.		Totaux.	Ensemble.
	hectares.	fr.	c.	fr.	
Terres hautes.	100	21	20	2,120	45,000 fr.
Terres moyennes non arrosées.	125	21	20	2,650	
Terres moyennes arrosées. . . .	150	213	70	32,055	
Marais.	125	65	40	8,175	
Total.	500^h^	»		»	

Ce domaine représente donc comme capital dépensé ou immobilisé :

$$222,500 + 47,324 + 45,000 = 314,824 \text{ francs},$$

et, en outre, un fonds de mise en valeur ou de roulement de 100,000 fr., plus ou moins réalisable ou mobilisable, indépendamment de la terre.

Quelle sera sa valeur vénale, en l'état?

Quelle plus-value a-t-il acquise?

Et, d'abord, estimons le *rendement* nouveau que l'on peut en attendre.

TERRES HAUTES. La garance donne ou donnerait tous les trois ans 4,000 kil. de racines à 60 fr. les 100 kil.; le produit annuel était $\frac{25}{3} \times 4{,}000 \text{ kil.} \times 0^{f},50 = 17{,}000$ francs, et en défalquant 4,000 fr., ou 500 fr. par hectare pour frais de plantation, fumure, arrachage, buttage, etc.; il restait en produit net. . . . . . . 13,000 fr.

La luzerne, non arrosée, mais bien fumée, donne 6,000 kil. à 8 fr. les 100 kil., et en défalquant les frais de coupe, etc., net 400 fr. par hectare, et pour 57 hectares. 22,800

Les céréales donnent environ 100 fr. nets par hectare, et pour 18 hectares. 1,800

TERRES MOYENNES. Les foins grossiers des terres moyennes seront consommés sur place par les 200 bœufs, et donneront les fumiers; quant au bénéfice de l'élevage et de l'engraissement lent, il sera fort variable; on peut l'estimer de 30 à 50 fr. par an et par tête, soit en moyenne 40 fr., et pour 200 bêtes. 8,000

TERRES BASSES. Les marais pourront donner 40 fr. de produits par hectare, et pour 125 hectares. 5,000

Ce qui représenterait un bénéfice net total d'environ. . . . 50,000 fr.

Tandis que le *revenu primitif* pouvait, sans grande erreur, s'évaluer de la sorte :

Terres hautes : 100 hectares de terres labourables, dont la moitié en jachère, donnant annuellement, pour 50 hectares, 100 à 110 fr. de revenu moyen.	5,500 fr.
Terres moyennes ou pâturages : 275 hectares donnant en moyenne 15 fr. de revenu..	4,125
Terres basses ou marais : 125 hectares donnant peut-être 20 fr. en moyenne de rendement..	2,500
Soit, en tout.	12,125 fr.

représentant bien à peu près, au taux de capitalisation de 5 pour 100 admis en Camargue, une valeur en principal de 225 à 240,000 francs.

En dehors de la plus-value donnée par le bon aménagement du domaine, les cultures et les fumures plus avancées, etc., on peut estimer sur les bases connues, comme il suit, l'augmentation de valeur acquise à la suite des seuls travaux hydrauliques :

Terres hautes..................	100	hectares	×	100 fr.	=	20,000 fr.
Terres moyennes, non arrosées...	125	»	×	350	=	43,750
Terres moyennes, arrosées.......	150	»	×	1000	=	150 000
Marais........................	125	»	×	500	=	62,500
Total de la plus-value...............						276,250 fr.

Le prix d'achat du domaine ayant été de :	222,500 fr.
il vaudrait intrinsèquement de plus....................	276,250 fr.
soit......................	498,750 fr.
et, défalquant les déboursés et dépenses immobilisés et capitalisés.	314,800 fr.
il reste en bénéfice net......................	184,000 fr.

Sur la somme de 100,000 francs employée, en outre, à la mise en valeur, en cheptel, etc., une grande partie est immobilisée, mais elle donne certainement une autre plus-value spéciale à la propriété, qui la ferait ressortir tout entière ; le domaine ainsi en état, rendant environ 50,000 francs de bénéfices, vaudrait largement, tel quel, 700,000 francs en capitalisant ce produit à 7 °/., ce qui donnnerait en dernière analyse, en dehors de tous les déboursés, une plus-value totale de 700,000 francs — 415,000 francs = 285,000 francs.

Comme vérification de ces dires, nous proposerons un exemple qui puisse s'appliquer dans l'espèce : les résultats obtenus au Mas de Vert par M. Maiffredy, lauréat de la prime d'honneur, en 1861. Ce domaine

appartient, il est vrai, à la meilleure partie de la Camargue, mais il ne dispose pas, en l'état, de tous les moyens d'écoulage et d'irrigation qu'on propose de créer dans l'île, et que nous avons supposés créés. Il compte 216 hectares de terres labourables, 20 hectares de prairies, 32 hectares de vignes, 100 hectares de marais et 182 hectares de pâturages grossiers : soit 550 hectares de surface totale; il nourrit 18 chevaux ou mulets, 28 bœufs, 1,000 moutons et 25 porcs. Il donnait en 1860, 43.016 francs *de revenu net;* avec l'augmentation des prix de vente actuels, il donnerait aujourd'hui davantage, et doté d'améliorations nouvelles, son rendement total nouveau viendrait confirmer très-sensiblement nos prévisions, de 50,000 fr. environ pour le domaine-type, de même surface à peu près, que nous avons envisagé dans notre précédente étude.

Si nous calculons proportionnellement la plus-value totale acquise approximativement pour les 28,500 hectares des trois syndicats, les plus intéressants de la Camargue, nous aurons à multiplier les résultats précédents par 57, rapport de $\frac{500^h}{28,500^h}$, ce qui nous donnerait sensiblement les dépenses totales, que nous avons calculées pour l'ensemble du projet, en partant d'une valeur primitive, pour 28,500 hectares, d'environ 13 millions, rendant 700,000 francs actuellement.

Ce prix primitif de 13 millions s'élèvera à 19,200,000 francs en comprenant la dépense des travaux hydrauliques (et même à 26 millions, en ajoutant le capital d'exploitation ou de mise en valeur), avec des charges annuelles représentant, en outre, l'intérêt d'un capital de 2,800,000 francs.

La valeur vénale acquise après les travaux hydrauliques (valeur primitive et plus-value) ne peut s'estimer à moins de 28 à 29 millions (57 × 498,750 fr.), et après la mise en valeur complète 40 à 42 millions (57 × 700,000 fr.).

Les *bénéfices* réalisés, tous déboursés faits, s'élèveront donc immédiatement à 10 millions (57 × 184,000 fr.), et plus tard, en pleine exploitation, à 16 millions environ (57 × 285,000 fr.).

Le revenu total ou rendement annuel de cette zone se sera élevé de 680,000 fr. (57 × 12,125 fr.) à 2,850,000 fr. (57 × 50,000 fr.), ou net, en défalquant l'entretien annuel de 140,000 francs, correspondant, à 5 pour 100, au capital fictif de 2,800,000 francs, à 2,700,000 francs; ces résultats couvriront sûrement et largement les subventions des uns et les avances des autres, d'autant plus sûrement qu'ils s'appliquent aux 28,500 hectares représentant de beaucoup la meilleure partie de la Camargue.

Combinaisons de prêt ou de crédit. — Mais, comment faire face à cette dépense de 12 millions, en comprenant dans ce chiffre la part de l'État et du département, 2,250,000 francs, qu'ils ne pourraient peut-être

donner qu'à long terme, et la charge des particuliers, 9,750,000 francs environ? La Camargue ne peut évidemment pas la trouver chez elle...

Il faut qu'*une Compagnie financière de crédit* ou *de prêt foncier* s'organise, se chargeant au besoin d'avancer à l'État et au département le solde de leurs subventions (2,250,000 fr.), mais instituée surtout pour prêter aux propriétaires du sol, à un taux modéré, au fur et à mesure des travaux d'amélioration, les fonds nécessaires, que nous avons évalués à 10,000,000 de francs environ.

Sans nous préoccuper des conditions auxquelles cette société souscrira le prêt à l'Administration, recherchons seulement comment pourrait fonctionner ce système d'avances aux particuliers.

On peut admettre que l'amélioration soit entreprise par *tiers*, en trois périodes successives; l'opération de dessalement devant durer trois ans, la mise en culture tout autant, en ajoutant une année pour l'imprévu, on arrive à une durée de sept ans pour chaque période, et à un laps de temps de 21 ans pour le cycle complet. Ce délai n'a rien d'exagéré en pratique, quand on songe à la lenteur de tous les progrès agricoles.

Deux combinaisons pourront se présenter au choix des prêteurs et des emprunteurs :

Rembourser le plus tôt possible le capital prêté, dans la période de transformation, ou en 21 ans;

Ou, pour décharger la propriété, admettre un plus long délai, 50 ans par exemple, pour la libération complète.

Nous allons examiner l'une et l'autre de ces deux hypothèses.

Première hypothèse : PRÊT A COURT TERME.

1re PÉRIODE. — La Société de crédit avancera le tiers de la dépense totale, soit 3,300,000 francs, qui seront employés dans le cours de la première période. Les emprunteurs font le tiers des travaux prévus; comme les fermages et intérêts perdus pendant la période des travaux ont été portés à l'actif de ces travaux, nous ne les faisons plus entrer en compte. Les 28,500 hectares en question, qui sont les meilleurs de l'île, disposant d'un revenu actuel de 700,000 francs, dont nous retirerons pour impôts, redevances, charges anciennes, 30 pour 100, il restera net disponible environ 500,000 francs; en versant à peu près la moitié de ce revenu ou 254,100 fr. pour l'intérêt et l'amortissement en 21 ans de la première avance, on fera le service à 5 pour 100 des annuités d'un prêt de 3,300,000 francs, remboursables en 21 ans (7f 70 pour 100).

Et il restera encore sensiblement aux propriétaires 50 pour 100 du revenu net ou 246,000 francs.

2e PÉRIODE. — Au bout de cette première période de sept années, le revenu sera avec le tiers amélioré :

leur revenu pendant une courte période; la majoration devient, tout de suite après, fort sensible, pour arriver dans tous les cas au quadruple et même au quintuple du produit actuel.

Les intéressés pourraient choisir entre ces deux combinaisons.

Les sûretés qui seront offertes aux prêteurs paraissent complètes : les prêts étant successifs, avant de s'engager plus avant, on consultera les premiers résultats obtenus; les sommes avancées seront garanties par des hypothèques prises sur le sol et ses améliorations, sur une valeur originelle de 13 millions, prix d'achat primitif, portée à 28 ou 29 millions avec les travaux faits et la plus-value acquise du fait de ces premiers travaux, valeur qui s'élèvera même presque à 40 ou 42 millions après la mise en exploitation et en plein rendement.

Si nous ne nous abusons pas, une pareille combinaison présente pour tout le monde des avantages et des sécurités incontestables : 1° pour les propriétaires, en ce qu'elle supprime ces éventualités de plus-values à long terme qui inquiètent, gênent et entravent toutes les libertés; on se trouve en face d'engagements parfaitement précis, parfaitement définis, et chacun reste maître absolu de ses agissements et de sa propriété; 2° la Compagnie, avançant successivement des sommes limitées, a toujours derrière elle des garanties hypothécaires sur des terrains de valeur triple et même sur des domaines d'une valeur quadruple du montant de ses avances; si les premiers essais ne réussissent pas, elle garde la liberté de se retirer et de liquider; elle ne délivrera, du reste, des fonds aux propriétaires qu'au fur et à mesure de l'avancement des travaux, sur lesquels elle exercera son contrôle; 3° l'État n'intervient que pour une somme relativement faible, qui ne dépasse pas la proportion habituelle de sa participation aux travaux de cette nature.

Comme stimulant au zèle des particuliers, on offrira de fortes primes à ceux qui obtiendront les meilleurs résultats.

Mais insistons bien sur ce point : dans ce système, les propriétaires *restent maîtres chez eux*, ce qui est leur volonté expresse, sans quoi ils ne consentiront à rien qu'à vendre leurs domaines à l'État ou à une compagnie concessionnaire de l'assèchement et de l'irrigation, en se faisant appliquer la loi du 16 septembre 1807.

PLAN-DU-BOURG.

Nous devons parler avec quelques détails de ce qui concerne particulièrement le Plan-du-Bourg, dont on s'est généralement assez peu occupé.

Le problème est là *matériellement* plus difficile, parce que, à la hauteur du grand Plan-du-Bourg, le niveau du fleuve s'est beaucoup abaissé, et que, d'autre part, les écoulages se font naturellement à un niveau plus élevé, faute de récipients qui emmagasinent l'excès des pluies d'automne, comme le Valcarès.

Mais, *moralement*, la solution peut être plus facile, plus prompte, parce que la propriété est moins divisée que sur certains points de la Camargue, et que le Plan-du-Bourg se prête parfaitement à des transformations morcelées et successives.

La solution proposée par M. Duval, qui emprunte le concours des machines aussi bien pour l'assèchement que pour l'irrigation, est inadmissible, parce qu'elle fait peser sur tous les terrains, riches et pauvres, des charges que les plus riches déjà pourraient à peine supporter.

Du reste, dans le système que nous proposons et qui n'est pas le desséchement, il ne paraît pas nécessaire d'abaisser le plan d'eau à — $0^m,50$; il faut assécher les terres hautes et moyennes, laisser les terres inférieures en marais, et quant aux étangs, comme le Gloria, le Galéjon, il n'est pas prouvé qu'il y ait le moindre intérêt à les dessécher.

On peut écouler les eaux au canal de Bouc ou à la mer, à un niveau variant entre + $0^m,40$ et $0^m,50$; dans certains cas très-particuliers, on pourra épuiser par machines à un niveau plus bas, mais seulement quand ce service onéreux, comme l'arrosage artificiel pour les terres les plus élevées, pourra couvrir ses frais.

Nous considérons ici comme terres *basses* celles qui sont au-dessous de $0^m,75$; comme terres *moyennes*, celles qui sont situées entre $0^m,75$ et $1^m,75$, et les terres *hautes* au-dessus.

AMÉLIORATIONS POSSIBLES. — Les écoulages peuvent se faire par zones perpendiculaires au canal de Bouc, qui se trouve par la disposition générale du terrain, que nous avons expliquée souvent, au bas de la pente formée par la rive gauche actuelle du Rhône. Les canaux d'irrigation arriveront au point haut de cette pente, c'est-à-dire le plus près possible de la rive.

Quant à l'alimentation de ce canal, il ne faut pas songer au Rhône : on ne pourrait établir une prise d'eau à Champtercier ni aux Bécasses, parce que la cote moyenne en temps d'arrosage est là $1^m,15+0^m,86=2^m,01$ (et $1^m,15$ seulement à l'étiage), ce qui laisserait en dehors de l'arrosage plus de la moitié des terres.

Quant à dériver le Rhône à Arles par un nouveau canal. à section forcément réduite, il n'y faut pas penser : outre les difficultés extrêmes qu'on rencontrerait pour l'établir, la dépense entre Arles et le Mas-Thibert ne serait couverte par aucune redevance importante, sans compter que l'on ne gagnerait pas beaucoup de hauteur, car il faudrait toujours donner à ce canal à peu près la pente de $0^m,04$ par kilomètre, qui est celle du Rhône lui-même, au dessous d'Arles.

La solution vraiment pratique doit être fournie par le projet de M. Nadault de Buffon, qui avait du reste inscrit l'irrigation et l'amélioration du Plan-du-Bourg dans son programme, à la suite des travaux de colmatage des marais de Fos et de la Crau, dont nous avons rendu compte précédemment.

Bien qu'il semble avoir rayé jusqu'à nouvel ordre cet article de son projet, il serait bien regrettable qu'il l'abandonnât complétement, car on trouve là la seule solution pratique que puisse espérer le Plan-du-Bourg.

Sans rien préjuger du plan arrêté par M. Nadault de Buffon, on voit tout de suite que son canal principal de colmatage, arrivé en face du Mas-Thibert, pourrait facilement envoyer un émissaire qui passerait en siphon le canal de Bouc, livrerait les eaux à la tête du grand Plan-du-Bourg, à une cote de $3^m,25$ ou $3^m,50$, et suivrait la levée du canal, ou, ce qui serait mieux encore, les terres plus hautes de la rive gauche du Rhône; le service de l'arrosage se trouverait placé dans les conditions que rêvait pour lui M. Duval, et qu'il ne parvenait à réaliser qu'à grand renfort de machines, solution que la pratique a toujours la plus grande répugnance à accepter.

Cela étant donné, et abandonnant du même coup le système du *dessèchement* complet voulu par M. Duval, pour le réduire au seul *assèchement* exécuté par les écoulages naturels sur le canal de Bouc ou la mer, on peut rétrécir considérablement et utilement le programme trop vaste de M. Duval, et le réduire à de plus justes proportions.

On peut considérer que le grand Plan-du-Bourg comprend 11,300 hectares, savoir :

	2,800	hectares	de terres hautes.	11,300 hectares.
	4,800	—	de terres moyennes.	
Marais.........	1,900	—	terres basses.	
Étangs et plages..	1,800	—		

Nous nous occuperons peu des marais et des étangs qui ne peuvent

guère être livrés avantageusement qu'à la production roselière, et dont on renouvellera l'eau au moyen des colatures, en profitant des plus basses mers d'équinoxe pour assurer les écoulages et les mises à sec.

DÉPENSES ET PLUS-VALUES. — Quant aux plages et aux étangs salés des bords de la mer, nous les excepterons comme demandant des solutions trop coûteuses.

Il ne semble pas que les travaux d'écoulage dépassent, proportionnellement, la valeur des dépenses correspondantes de la Camargue; sur les mêmes bases :

Ce sera environ pour l'État et le département.........	200,000 fr.
Et pour les particuliers..........................	150,000
En tout.................. ..	350,000

On accueillera avec reconnaissance la solution que voudra bien apporter M. Nadault de Buffon, en envoyant à une cote élevée une branche de son canal de dérivation de la Durance. Il pourra trouver dans le Plan-du-Bourg le placement de 5 mètres cubes, suffisants pour faire face à tous les arrosages; au prix de 25 francs par hectare, on payerait une redevance de 125,000 francs, qui semble devoir rémunérer avantageusement la dépense de 1,000 à 1,200,000 francs que cette branche occasionnerait.

Quant aux travaux complémentaires, on peut penser que les choses se passeraient à peu près comme dans la Camargue.

Quant aux résultats généraux, nous devons faire remarquer que le grand Plan-du-Bourg correspond à une zone de la Camargue en moyenne plus basse, plus salée, plus éloignée des lieux d'exportation et de consommation, moins avantageuse par conséquent. Mais l'arrosage atteindrait presque la totalité des terres; on pourra surtout l'appliquer utilement à la zone élevée, faire des luzernes arrosées beaucoup plus productives, et sortir des cultures *sèches* pour les meilleures terres.

Les luzernes arrosées s'épuisent plus vite; leur durée sera réduite à 4 ou 5 ans, et l'assolement devra être réglé à 8 ou 9 ans, dont 5 ans de luzernes alternant avec 4 ans de céréales, et chardon ou garance.

Le grand avantage de l'arrosage se trouvera dans le plus grand produit des luzernières, 8 à 9,000 kilog. par hectare, au lieu de 6,000 kilog. donnés par les terres non arrosées; dans les conditions du domaine-type que nous avons envisagé précédemment pour la Camargue, toutes choses égales d'ailleurs, on retirerait de 150 à 200 francs de plus par hectare, soit de 59 à 62,000 francs de revenu total, au lieu de 51,000 francs que nous calculions alors.

Cet exemple montre bien l'avantage que l'on peut retirer de l'arrosage dans des circonstances données, et pourra encourager dans certains cas

à l'obtenir artificiellement. Pourtant, il ne faut pas se dissimuler que ce ne pourra pas être une solution générale et applicable toujours : pour des surfaces de 50 à 100 hectares, l'arrosage mécanique particulier, tous frais de combustible, de graissage, de conduite, d'entretien et d'amortissement comptés, ne reviendra pas à beaucoup moins de 70 à 75 francs, ce qui absorbe presque 50 pour 100 de la plus-value à acquérir. S'il s'agissait uniquement d'arroser des surfaces bien fixes, comme celles des prairies artificielles à longue durée, les frais d'établissement des canaux, des prises d'eau, de nivellement du sol pourraient être amortis; mais les prairies artificielles ne prospèrent pas bien et ne développent pas tous leurs avantages en Camargue, à cause de leur envahissement rapide par les herbes parasites et grossières, d'autant plus que les terres reçoivent plus d'engrais; cette circonstance oblige à des labours et à des retournements répétés. Ces fréquentes reprises font perdre chaque fois beaucoup de temps et de très-gros produits; aussi préfère-t-on adopter des cultures à durée limitée, mais à gros rendement, comme celle de la luzerne; il faut alors des rotations à long terme, 3 ou 4 ans entre deux luzernes successives, et ces déplacements de culture conduisent dès lors à des développements de canaux, à des travaux qui absorbent encore une bonne partie des derniers 50 pour 100 du bénéfice que procure l'arrosage. Pour toutes ces raisons, la pratique n'abusera pas généralement de la solution dispendieuse de l'irrigation artificielle.

Dans le cas particulier de l'arrosage naturel que nous espérons pour le Plan-du-Bourg, l'avantage reste très-appréciable, très-net pour les terres hautes, et l'on ne manquera pas d'en profiter. Mais, sur la base de 25 fr. de redevance annuelle, l'arrosage sera déjà très-onéreux pour les terres médiocres, comme nous le verrons par la suite.

Les frais d'assèchement et les redevances d'arrosage représenteront des frais plus élevés que ceux calculés pour la Camargue, parce que la Compagnie d'arrosage doit percevoir un amortissement et des bénéfices sur des travaux que l'État exécutait dans l'île à ses frais et à *fonds perdus*, comme on dit parfois.

A cause de ces charges plus grandes, le bénéfice de la plus-value pour les terres moyennes et basses sera moindre qu'en Camargue, d'autant plus que l'exportation des produits sera plus coûteuse; seulement la zone des terres moyennes sera presque entièrement arrosée.

Pour les terres hautes, la plus-value sera fort appréciable : ces terres qui valent actuellement 1,200 francs arrosées vaudraient facilement 3,000 et 3,200 francs, si elles pouvaient donner d'une façon continue les produits des luzernes arrosées; mais il faut pendant 4 années sur 8 ou 9 les ramener aux cultures ordinaires des céréales et aux produits médiocres de cette nature; comme terres à blé, ne profitant que des écoulages améliorés, elles vaudraient 200 francs de plus; elles

gagneront la moyenne entre ces deux plus-values, soit 1,200 francs par hectare.

La plus-value gagnée dans l'ensemble sera donc :

Terres hautes.....	2,800	hectares	×	1200 fr.	=	3,360,000 fr.
Terres moyennes..	4,800	—	×	800	=	3,840,000
Marais...........	1,900	—	×	400	=	760,000
				Total............		7,960,000

Les dépenses nécessaires pour acquérir ces avantages seraient :

Pour l'État et le département, le prix des canaux d'écoulage....	350,000 fr.
Pour la Compagnie d'irrigation, le prix de la branche du Plan-du-Bourg, au maximum....................................	1,250,000

	Premier établissement.		Entretien annuel.	
Pour les particuliers :	fr.	c.	fr.	c.
1° Les réseaux secondaire et tertiaire d'écoulage, sur les bases calculées en Camargue, par hectare...	62	30	1	56
2° Les réseaux secondaire et tertiaire d'arrosage, en utilisant encore le mieux possible les roubines et rigoles existantes, par hectare..................	62	70	2	00
Redevance d'arrosage.......................	»		25	00
Total...............	125	00	28	56

Cette dépense, suffisante pour les terres moyennes, pourra s'élever pour les terres hautes, qui demandent un système d'arrosage plus soigné et plus complet, à 200 francs, et se réduira au *tiers* pour les marais.

La dépense, sur ces bases, sera donc pour les particuliers :

Terres hautes, 2,800 hectares × 200 francs........	560,000 fr.
Terres moyennes, 4,800 hectares × 125 francs......	600,000
Marais, 1,900 hectares × 43 francs................	81,700
Total...........	1,241,700
Pertes d'intérêts des travaux, pendant 3 ans 1/2, à 5 pour 100...	217,300
Pertes des fermages des terres moyennes, 3 ans 1/2 et 4,800 hectares à 15 francs..........................	25,000
Dépense totale...........	1,484,000
Pour la mise en valeur, matériel, cheptel, on comptera, comme précédemment, 300 francs par hectare pour les terres hautes et moyennes, soit 7,600 hectares × 300 fr.	2,280,000
Dépense totale des particuliers.......	3,764,000

Le revenu amélioré deviendrait, pour 8,500 hectares, sur la base de 60,000 francs pour 500 hectares, 1,020,000 francs.

Pour obtenir l'amélioration immédiate représentant la valeur calculée de 8,000,000 de francs, outre une dépense de 1,600,000 francs partagée entre l'État et une Compagnie d'arrosage, il resterait à la charge des particuliers une dépense personnelle de 1,500,000 francs, un fonds de roulement et de cheptel, et des frais annuels d'entretien, sur lesquels nous allons revenir.

Pour la mise en valeur et en pleine production, il faut ajouter une nouvelle somme de 2,300,000 francs, qui se retrouvera largement d'un autre côté dans une plus-value nouvelle, s'ajoutant à celle qui a été calculée et représentant une valeur facilement réalisable, comme le prix du bétail, et un roulement industriel complétement organisé.

Une combinaison financière, organisée sur les bases que nous avons indiquées pour la Camargue, permettrait de faire face à ces déboursés, d'autant plus facilement que les produits annuels croîtront plus vite. Il nous semble inutile d'en étudier à nouveau avec détails le mécanisme précédemment esquissé.

Nous devons signaler ici les conséquences fâcheuses de ces redevances annuelles un peu fortes, comme celles qui grèveraient le Plan-du-Bourg. L'expérience des autres canaux d'arrosage du Midi et le calcul établissent que le prix d'arrosage de 25 francs par hectare ne saurait être abaissé : à ce taux, les Compagnies particulières, qui ne donnent pas comme l'État leur argent à *fonds perdus*, rentrent à peine dans leurs frais d'entretien, de curage, d'administration, d'amortissement, etc.

Cette prime porte à 28 fr. 56 la redevance annuelle fixe à payer par les terres du Plan-du-Bourg, somme trois fois plus forte que celle payée par la Camargue ; en capitalisant cette somme à 5 pour 100, on la trouve représentant un principal de 751 fr. 20, ce qui donne pour les 7,600 hectares de terres hautes et moyennes intéressées. 4,341,000f
et, pour les 1,900 hectares de marais, au tiers de cette somme par hectare, ... 362,000f

soit le revenu d'un capital *virtuel* de. 4,703,000f

Si nous l'ajoutons aux divers déboursés, nous trouvons :

État et Compagnie.		Particuliers.		Redevances.		Total.
1,600,000 fr.	+	1,500,000 fr.	+	4,703,000 fr.	=	7,803,000 fr.

représentant une somme presque égale à la plus-value, 7,960,000 fr. à acquérir.

Le bénéfice direct serait donc très-mince, si l'on prenait ce calcul dans toute sa rigueur : le capital que nous appelons *virtuel*, n'est heureusement pas un capital déboursé ; mais on peut dire que, dans l'ensemble de l'amélioration du Plan-du-Bourg, du fait d'une simple charge annuelle d'à peu près 30 francs, le principal avantage réalisé serait une sorte de nu-propriété, dont le revenu à 5 pour 100 serait engagé à perpétuité. Après l'entière mise en valeur, il restera pourtant une amélioration très-sensible du revenu, qui se traduira par une plus-value générale, plus nette et plus séduisante, mais qui variera avec les procédés et les systèmes suivis par chaque propriétaire.

Les redevances de 30 francs, que peuvent assez bien payer sur leurs gros produits les terres hautes, sont donc accablantes pour les terres moyennes, qui donnent 80 ou 100 francs de produits annuels, et pour lesquels 20 ou 30 francs de plus représentent presque tout l'intérêt de la plus-value directe à acquérir.

Cet exemple marque bien avec quelle prudence excessive ces entreprises doivent être envisagées et conduites. Il permet de reconnaître l'erreur grave dans laquelle tombent les Compagnies et les ingénieurs qui, attendant des résultats illusoires, des valeurs de 10,000 francs à l'hectare, s'engagent dans des dépenses absolument folles. Si l'on est réduit, en Camargue, à compter avec des redevances annuelles de 30 francs, que dire de ces projets que l'on voit lancés sérieusement sur des bases comme celles-ci :

Travaux de drainage par hectare	400 fr.
Machines et canaux d'écoulage et d'arrosage	500
Défrichement, mise en culture	400
	1300
Intérêts des travaux perdus pendant 3 ans au moins	195
Entretien des canaux, consommation des machines, au moins 75 francs par an ; perte pendant 3 ans au moins	225
Fermages perdus pendant le même laps de temps	45
Capitalisation de l'entretien annuel	1500
	3265

Sans compter la valeur primitive du sol, qui représente :

Pour les terres hautes	800 fr. à 1000 fr.
Pour les terres moyennes	350 fr.

On arrive ainsi à un prix de revient de 3,600 à 4,000 francs, alors que en réalité les meilleures prairies dans les terres hautes ne vaudront guère plus de 2,500 francs, exceptionnellement 3,000 francs !

Et dans les terres moyennes et basses, qui coûteront encore plus de

peines à améliorer, combien ne restera-t-on pas au-dessous de ces valeurs !

Que de déceptions et d'embarras on se prépare, faute de connaître les conditions élémentaires du pays que l'on prétend ambitieusement régénérer !

RÉSUMÉ.

Pour faire entrer enfin le problème d'amélioration dans une voie utile, pratique et féconde, il faudrait :

1° Organiser à bref délai, en Camargue ou dans le Plan-du-Bourg, un champ d'expériences dans des conditions moyennes bien choisies, qui permît de déterminer bien exactement les systèmes à suivre et les résultats à espérer : cet essai paraît absolument indispensable pour éclairer la *religion* de l'Administration, des particuliers, des Compagnies financières, de tous ceux enfin qui doivent apporter leur concours à l'œuvre commune;

2° Provoquer la formation d'un syndicat général parmi les syndicats partiels, s'engageant déjà, éventuellement, sur un programme déterminé, à profiter des travaux d'ensemble qui seront faits, et à ne pas les laisser sans emploi : l'Administration a la résolution de ne prêter l'oreille à aucune demande de subvention qui ne se présenterait pas sous ces auspices, et, en vérité, on ne saurait l'en blâmer;

3° Obtenir dans la plus large mesure les subventions et le concours de l'État, du département, des Compagnies particulières qui ont fait des offres : tous les travaux d'ensemble (1er et 2e réseaux) doivent être faits par ces subventions, sous peine de ne jamais trouver dans le pays les ressources nécessaires, et sous peine de laisser passer plusieurs siècles sans qu'on arrive jamais à s'entendre sur la part contributive que doit supporter chacun dans la dépense totale ;

4° Organiser en même temps une combinaison financière avançant aux particuliers, et au besoin à l'État, les sommes nécessaires, au taux le plus réduit, et se remboursant par une sorte de prélèvement ou d'impôt, qui laisse le plus possible du revenu libre ;

5° Pousser les travaux d'assèchement, puis ceux d'irrigation, en utilisant le mieux possible les anciens travaux;

6° Encourager de toute manière l'initiative individuelle, les améliorations, l'économie des travaux par des primes, etc. ;

7° Concéder, s'il le faut, des dégrèvements d'impôts pendant la période de transformation.

Il ne sera certes pas difficile de trouver un programme, sinon plus

prudent, du moins plus complet; mais nous formulons un programme, ce qu'on a complétement omis de faire jusqu'ici. L'Administration et les particuliers se sont habitués à attendre mutuellement leurs propositions réciproques : sous l'empire de ce malentendu, on a perdu au moins ces trente dernières années à élever des prétentions exagérées, à émettre des vœux stériles, sans que la question ait fait le premier pas.

Le pays, las d'espérer et de désespérer tour à tour, semble aujourd'hui se désintéresser de ces questions; il faudra pourtant qu'il se décide à reprendre quelque initiative : pour cela, il n'aurait qu'à se rappeller aujourd'hui ce qu'il était hier! Ce qu'il a fait dans le passé avec ses seules ressources, sa seule énergie, ne saurait-il donc plus l'entreprendre avec le concours d'une coopération mieux comprise et l'aide féconde du crédit public? La tâche n'est ni plus grande ni plus difficile.....

Mais il lui faut nécessairement pouvoir compter, dans la proportion que nous avons indiquée, sur des secours étrangers. Feront-ils défaut?

L'État a offert autrefois 3 millions de subvention au projet de M. Bernard; peut-il le refuser aujourd'hui, quand il accorde la même somme à l'entreprise des irrigations de la Drôme, sous la seule condition que le public souscrive 3 mètres cubes? Or il s'agirait ici de 10 mètres cubes au moins à employer..... La situation de la Camargue, qui ploie sous les charges de toutes sortes, est au moins tout aussi digne d'aide, de pitié et de secours.

Le département sera-t-il plus généreux? Devant le Conseil général, pour toutes les distributions de secours et de subventions, l'arrondissement d'Arles a toujours été sacrifié aux deux autres arrondissements. Par une juste compensation, il a droit désormais à un meilleur traitement, à de légitimes réparations, qui ne sauraient porter sur un objet plus intéressant que la Camargue.

Ces encouragements, l'exécution prochaine de premiers travaux, les premiers succès auront raison, il n'en faut pas douter, de l'inertie, de l'irrésolution, de l'incertitude, de l'esprit de renoncement qui jusqu'ici a tout enrayé... Les efforts de quelques hommes courageux, dévoués et patients feront le reste, relèveront toutes les confiances et entraîneront toutes les bonnes volontés, dont le concours est nécessaire pour mener à terme et à bien une œuvre si considérable.

Le travail et la persévérance viennent à bout de tout..... On ne doutera pas de la vérité de cet adage dans le pays qui a vu les efforts et les succès d'Ol. de Serres, d'Althen, de Gasparin, d'Adam de Craponne et de Montricher!

NOTE

SUR

LE LOSANGE ARTICULÉ

DU COLONEL PEAUCELLIER

PAR M. LEMOINE (ÉMILE).

Cet organe donne le moyen de produire un mouvement en ligne droite par un système de tiges liées entre elles, sans rainures, guides, glissières; le système ne contient que des centres fixes et des articulations reliant des tiges rigides. Il donne, comme cas particulier, la première solution rigoureuse du problème de Watt : *Transformation par tiges articulées d'un mouvement rectiligne alternatif* (mouvement du piston) *en mouvement circulaire alternatif* (mouvement du balancier).

M. le colonel du génie Peaucellier publia pour la première fois en 1864 *(il était* alors capitaine) cette importante découverte, sous forme de question, dans les *Nouvelles Annales de mathématiques.* Le capitaine Mannheim la communiqua, en 1867, à la *Société philomatique de Paris,* où elle passa inaperçue; le colonel Peaucellier en fit la première application à un instrument de nivellement décrit dans le n° 18 du *Mémorial de l'officier du génie,* 1868.

Quoi qu'il en soit, il est incroyable mais vrai cependant, qu'elle fut si peu remarquée que M. Lipkin, jeune étudiant de l'université de Saint-Pétersbourg, élève de Tchébicheff, ayant trouvé, en 1871, de son côté, cette transformation cinématique, elle fut dernièrement encore publiée en France sous son nom, et que M. Tchébicheff put faire obtenir à M. Lipkin une pension du gouvernement russe, en récompense de sa belle découverte. La question est aujourd'hui parfaitement claire, et c'est le colonel Peaucellier qui a la priorité.

Considérons six tiges articulées (fig. 1) : quatre, BM′, M′C, CM, MB, sont égales et forment le losange BMCM′; les deux autres tiges OB, OC sont aussi égales entre elles ; quel que soit le mouvement du système, les

points O, M, M′ restent toujours en ligne droite, car ces trois points sont à égale distance de B et de C, sommets opposés du losange. Soit K le centre du losange.

Le triangle rectangle MBK donne : $\overline{MK}^2 = \overline{MB}^2 - \overline{BK}^2$

. . . . OBK . . . . $\overline{OK}^2 = \overline{OB}^2 - \overline{BK}^2$

d'où, en soustrayant membre à membre

$$\overline{OK}^2 - \overline{MK}^2 = \overline{OB}^2 - \overline{MB}^2$$

ce que l'on peut écrire :

$$(OK + MK)\,(OK - MK) = \overline{OB}^2 - \overline{MB}^2$$

mais $MK = KM'$ donc $OK + MK = OM'$

et $OK - MK = OM$

par suite l'on a :

$$OM.\ OM' = \overline{OB}^2 - \overline{MB}^2$$

quantité constante pour chaque organe de six tiges.

Si l'on fixe le point O et qu'on astreigne M à décrire une trajectoire quelconque, M′ décrira une trajectoire déterminée liée à la trajectoire que décrit M par la relation $OM.\ OM' = \overline{OB}^2 - \overline{MB}^2$; autrement dit, M′ décrira ce que l'on appelle *une transformée par rayons vecteurs réciproques du lieu de M.*

On voit ainsi qu'au moyen de l'organe de six tiges que nous venons de décrire et d'un point fixe, tout mouvement d'un point M sur une courbe pourra se transformer dans le mouvement du point M′ sur les transformées par rayons vecteurs réciproques de cette courbe.

Supposons que, O étant fixe, l'on articule en M (fig. 2) une septième tige invariablement fixée en A, le point M décrira une circonférence de centre A et de rayon AM, et, d'après ce que nous venons de démontrer, le point M′ décrira une transformée par rayons vecteurs réciproques de cette circonférence.

Nous allons établir que cette transformée est une circonférence, si l'on a : $MA > OA$ ou $MA < OA$

et une droite, si l'on a : $MA = OA$.

Soit (fig. 3 et fig. 3 *bis*) une circonférence de centre A et de rayon AM, soit O un point fixe, joignons OM qui coupe la circonférence en un autre point N.

Cherchons sur OM le point M′ tel que OM. OM′ = la constante donnée ($\overline{OB}^2 - \overline{MB}^2$ dans le cas du losange articulé) et appelons P^2 cette constante; soient H et L les points où OA coupe la circonférence de centre A et de rayon MA, soient H′ et L′ les points situés sur OA,

tels que $OH. OH' = P^2$ et $OL. OL' = P^2$

Joignons M′H′, M′L′, NH et NL.

On a: $$OM. ON = OH. OL,$$

ou $$\frac{OL}{OM} = \frac{OH}{ON};$$

mais on a: $$OL. OL' = OM. OM',$$

d'où $$\frac{OL}{OM} = \frac{OM'}{OL'}.$$

Donc $$\frac{OH}{ON} = \frac{OM'}{OL'},$$

c'est-à-dire que NH est parallèle à M′L′.

On verrait de même que NL est parallèle à M′H′. Or l'angle HNL est droit: donc il en est de même de H′M′L′, et par suite le lieu de M′ est la circonférence décrite sur H′L′ comme diamètre.

Si le point O se rapproche indéfiniment de H jusqu'à l'atteindre, H′ s'éloigne à l'infini (fig. 3 *ter*). L′ tend vers une position limite, et le lieu de M′ est alors la perpendiculaire à OA menée en L′. Dans ce cas, le mouvement circulaire de M est donc transformé dans le mouvement rectiligne de M′.

Nous allons du reste donner de ce cas important une démonstration directe.

Joignons ML (fig. 3 *ter*), on a:

$$OL. OL' = OM. OM',$$

d'où $$\frac{OL}{OM} = \frac{OM'}{OL'}.$$

Les deux triangles MOL, M′OL′, ayant un angle égal compris entre côtés proportionnels, sont semblables; et, comme l'angle LMO est droit, il en est de même de M′L′O: le lieu de M est donc la perpendiculaire menée en L′ à OA.

La figure 4, qui est telle que MA=OA, montre que, M décrivant une circonférence, M′ décrira une droite perpendiculaire à OA. Si nous prenons $O\beta$ sur OB et $O\gamma$ sur OC, tels que $O\beta = O\gamma$, et qu'on articule en ces

points deux tiges égales, $\beta\mu'$, $\gamma\mu'$, qui s'articulent aussi entre elles en μ'; si de plus nous prenons la longueur $\beta\mu'$ de façon que l'on ait

$$\frac{O\beta}{OB} = \frac{\beta\mu'}{BM'},$$

il est évident que μ' décrira une courbe semblable au lieu de M'; dans le cas présent, ce sera une droite perpendiculaire à OA. On pourra donc, dans le cas d'une application à la machine à vapeur, se procurer pour manœuvrer la pompe alimentaire, le tiroir, etc., autant de points décrivant des lignes droites qu'on en aura besoin.

Nous donnons dans les figures 5 et 6, d'après le colonel Peaucellier, deux exemples d'application de cet organe à un balancier de machine, l'un et l'autre se rapportant à un balancier de 2 mètres de longueur environ et représentés à l'échelle 1/20. Dans le premier exemple (fig. 5), le losange se compose de côtés articulés de $0^m,20$ de longueur et il ne se déforme que dans de faibles limites, puisque les angles aigus ne descendent pas au-dessous de 60°; dans ces conditions, la course est de $0^m,85$ quand le balancier n'a que 1 mètre de rayon. Dans le deuxième exemple, c'est le losange Peaucellier (figure 6) qui est lui-même le balancier.

Le système de 6 tiges, représenté par la figure 1, permet de faire des compas pour un grand nombre de courbes, et nous renvoyons pour plus de développement sur ce sujet au numéro de février 1873 des *Nouvelles Annales de mathématiques*. Nous voulons montrer, en terminant cette communication, l'importance qu'on attache à l'étranger à cette découverte. Une leçon a été faite tout entière sur ce sujet à l'*Institution royale de la Grande-Bretagne* par M. *Sylvester*, l'un des plus illustres géomètres anglais; nous allons extraire de la traduction qui en a été publiée, dans le numéro du 21 novembre 1874 de la *Revue scientifique*, quelques passages contenant aussi des renseignements sur les applications faites ou à faire du losange Peaucellier :

« M. Penrose, l'éminent architecte de la cathédrale de Saint-Paul, a « fait adapter à une pompe un système de tiges Peaucellier, au grand « étonnement du plombier chargé de ce travail; cet ouvrier pouvait à « peine en croire ses yeux, en voyant l'attache de la tige du piston suivre « une ligne rigoureusement verticale, au lieu d'osciller d'un côté à « l'autre comme dans les systèmes ordinaires. Rien n'empêche, ce sem- « ble, d'adapter ce mouvement rectiligne parfait à la construction des « appareils de cabinets à l'anglaise. Nous avons vu la pompe géomé- « trique que M. Penrose a fait installer à Wimbledon, dans sa cuisine; « à côté de cette pompe s'en trouve une du système ordinaire. La pre- « mière, quoiqu'elle n'occupe pas plus de place que sa voisine, donne, « pour le même mouvement du bras de levier, un volume d'eau bien plus

« considérable. Dernièrement encore, quelques marches circulaires si-
« tuées à l'extérieur de la cathédrale de Saint-Paul ayant besoin de répa-
« rations, M. Penrose s'est servi d'un assemblage de leviers articulés de
« Peaucellier pour dessiner des plaques circulaires de zinc dont il avait
« besoin. Les marches ont environ 12 mètres de rayon et l'on peut
« opérer avec un instrument qui n'avait que 2 mètres de longueur. Le
« général sir H. James, du corps du génie, nous apprend qu'à la suite
« d'une conférence publique faite par lui à ce sujet, à Southampton, un
« riche propriétaire, bien connu dans le sport nautique, a fait adapter à
« la machine d'un yacht à vapeur un appareil Peaucellier à mouvement
« rectiligne. Le premier *compas composé*, de Peaucellier, qui ait été con-
« struit en Angleterre, l'a été par M. Manuel Garcia, le musicien émi-
« nent, inventeur du laryngoscope. Je venais d'avoir une entrevue
« avec le docteur Tchébicheff, et, comme je demandais à ce grand ma-
« thématicien où en était la démonstration de l'impossibilité de con-
« vertir exactement un mouvement circulaire en mouvement recti-
« ligne par tiges articulées, il me répondit qu'il n'y avait plus lieu
« de s'occuper de cette impossibilité; qu'elle n'existait pas, puisque
« cette conversion avait été obtenue d'abord en France, puis tout
« récemment en Russie par un de ses élèves. Je montrai à M. Garcia
« la figure que m'avait laissée M. Tchébicheff, et le lendemain M. Gar-
« cia m'envoya un modèle construit avec quelques baguettes de bois,
« articulées à l'aide de clous, et qui, tout grossier qu'il était, fonction-
« nait à merveille et excita l'admiration de quelques-uns des membres
« les plus distingués du club philosophique de la Société Royale. Peu de
« temps après, je montrai le même modèle à mon ami sir William
« Thomson, de Glascow, qui l'examina avec admiration; et, lorsqu'on
« voulut l'en débarrasser, il répondit: « Non, je ne veux pas encore m'en
« séparer : c'est la plus belle chose que j'aie vue de ma vie. »

« Le mouvement rectiligne parfait de Peaucellier paraît si simple et
« fonctionne si facilement, que la plupart de ceux devant lesquels on a
« fait l'expérience s'étonnent qu'on ne l'ait pas découvert plus tôt. L'esprit
« confond ici la simplicité du résultat avec celle de la conception : car
« plus nous réfléchissons au problème qu'il s'agissait de résoudre et à
« la solution obtenue, plus nous nous étonnons qu'on y soit arrivé. En
« la considérant *à priori*, rien ne l'indiquait; elle n'a pas la moindre
« analogie, — sauf le détail de deux centres fixes, — avec le parallélo-
« gramme de Watt ou les autres systèmes qui en dérivent. Le mouve-
« ment rectiligne ou le mouvement circulaire qu'on peut ainsi pro-
« duire fournissent des applications importantes pour différentes
« machines telles que la machine à vapeur, les machines à raboter et à
« broyer; et aussi pour la construction des cartes par la projection sté-
« réographique, pour les moulins, les courbes de chemins de fer, les
« appareils dioptriques des phares, les dessins d'ornement, la suspen-

« sion des pendules de façon que le mouvement s'effectue suivant une « cycloïde parfaitement exacte, etc., etc. Je sais par les directeurs de « Woolwich que l'on aurait pu épargner aux ouvriers de l'arsenal plu- « sieurs semaines de travail, sans parler des frais inutiles, en employant « l'appareil Peaucellier, pour les courbes des enveloppes de torpilles « en forme de poisson que l'on vient de fabriquer dans le laboratoire « de cet arsenal; on vient aussi d'appliquer cet appareil à la tige du « piston d'une machine qui doit servir à la ventilation et à la filtration « de l'air des salles du nouveau Parlement.

« Il serait difficile de citer une découverte qui ouvre des horizons « aussi vastes et aussi variés que celle de Peaucellier, d'un côté se prê- « tant aux besoins de l'atelier et de l'autre s'élevant aux hauteurs les « plus ardues des théories les plus avancées de l'analyse moderne, ai- « dant et éclairant d'une manière tout à fait inattendue les recherches « des Abel, des Nieman, des Clebsch, des Grassman et des Cayley; même « en ne la considérant qu'au point de vue pratique et comme un nouvel « élément vital de mécanisme, elle est destinée à produire des résultats « durables et importants par ses innombrables applications, et elle « transmettra à la postérité le nom de son auteur comme celui d'un des « bienfaiteurs de l'humanité. »

Nota. Depuis que cette communication a été faite à la Société, des articles très-intéressants sur le même sujet sont parus dans le n° 40 (3 avril 1875) de la *Revue scientifique* et dans le n° 12 (21 avril 1875) de la *Revue industrielle :* on y décrit de nouveaux perfectionnements dans le système articulé, qui réduisent encore le nombre de tiges et d'articulations nécessaires à la transformation réciproque.

LES TORRENTS

LEURS LOIS, LEURS CAUSES ET LEURS EFFETS

MOYENS DE LES RÉPRIMER ET DE LES UTILISER

LEUR ACTION GÉOLOGIQUE UNIVERSELLE

PAR **MICHEL COSTA DE BASTELICA**
Conservateur des Eaux et Forêts[1].

Les grands travaux que l'administration des eaux et forêts a fait exécuter dans les Alpes depuis 1860, en vue de dompter les torrents qui désolent cette contrée, ont appelé de nouveau l'attention des forestiers, des ingénieurs et des savants sur cette question des torrents et des cours d'eau, que M. Surell posait en 1861.

M. Costa de Bastelica, conservateur des eaux et forêts, a pris une large part à ces travaux et il a pu étudier à fond le problème qu'ils soulèvent. Aussi ne s'est-il pas contenté dans le livre d'envisager la question au seul point de vue hydrologique. Après avoir donné les moyens de contenir *les eaux* torrentielles, il s'élève plus haut : il considère les torrents comme une des grandes forces de la nature ayant exercé une action géologique universelle, et il émet sur la physique planétaire des idées nouvelles, qui ne manqueront pas de frapper les géologues et les astronomes.

L'énoncé des principales divisions du livre suffit pour révéler l'importance de ce travail sérieux et l'intérêt d'actualité qu'il offre à tous ceux qui ont à se préoccuper de combattre le fléau des inondations, ou qui prennent part au mouvement des progrès de la science.

1re PARTIE. — Lois de l'entraînement et du dépôt des matières.
2e PARTIE. — Étude des torrents.
3e PARTIE. — Extinction des torrents.
4e PARTIE. — Du phénomène torrentiel dans les grands cours d'eau.
5e PARTIE. — Colmatage.
6e PARTIE. — Physique planétaire.

1. Chez Baudry, éditeur.

ÉTUDE

SUR LA

STABILITÉ DES VOUTES EN MAÇONNERIE

PAR M. RENÉ BONNIN
Agent-Voyer en chef de l'Eure, Membre de la Société.

Ce traité pratique et succinct est destiné aux agents secondaires du service vicinal, pour les guider dans la rédaction des projets qu'ils peuvent avoir à présenter.

Il est souvent difficile de mettre les enseignements de la science à la portée de ceux qui ne possèdent qu'une instruction moyenne et de les résumer en règles précises, simples et sûres. Cette difficulté s'augmente encore pour la théorie de la stabilité des voûtes, parce que c'est une des questions les moins précises, une de celles qui donnent lieu à plus de tâtonnements et où l'appréciation personnelle de l'ingénieur prend une plus large part.

Il fallait cependant enlever toute indécision à cette théorie, pour que l'application pût en être faite sans hésitation et sans laisser rien à l'imprévu ni à l'inexpérience des agents. C'est ce problème qu'a cherché à résoudre M. Bonnin. Il se propose de traiter ainsi toutes les questions techniques qui ont rapport au service vicinal.

Ces essais méritent de fixer l'attention de notre Société : le conseil général de l'Eure est, en effet, un des premiers qui ait confié à des ingénieurs civils le service des chemins vicinaux. Depuis, cet exemple a été suivi dans d'autres départements; nous devons espérer que ce fait se généralisera en France, et ceux de nos collègues qui pourront être appelés à remplir ces fonctions trouveront avec intérêt des études de la nature de celle qui est présentée aujourd'hui à la Société.

Paris. — Imp. VIÉVILLE et CAPIOMONT, rue des Poitevins, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(AVRIL, MAI, JUIN 1875)

N° 30

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Four Crampton*, par M. Lavalley (séance du 2 avril, page 266).

2° *Trempe du verre* par le procédé de La Bastie, par M. Clémendot (séance du 2 avril, page 278).

3° *Ascension du Zénith* (séance du 16 avril, page 282).

4° *Saint-Gothard* (*Tunnel de*), par. MM. Vauthier et Ribourt (séances des 16 avril, 21 mai, et 18 juin, pages 283, 319 et 331).

5° *Four Siemens*, par M. Boistel (séance du 16 avril, page 286).

6° *Exposition internationale de Géographie* (séance du 7 mai, page 294).

7° *Chemins de fer de montagnes*, par M. Mallet (séance du 7 mai, page 298).

8° *Déphosphoration des minerais de fer par le procédé Jacobi*, par M. Garnier (séance du 7 mai, page 303).

9° *Règle à dessiner*, pouvant s'allonger plus ou moins et former des échelles différentes, par M. André (séance du 21 mai, page 313).

10° *Ecole Monge*, par M. Molinos (séance du 21 mai, page 313).

11° *Ponts métalliques aux Etats-Unis* (séance du 21 mai, page 315).

12° *Navigation intérieure de la France* (analyse de l'ouvrage de M. Molinos, par M. Richard, séance du 4 juin, pages 320 et 500).

13° *Télégraphie pneumatique à grandes distances*, par M. Crespin (séance du 4 juin, page 320).

14° *Situation financière de la Société*, par M. le Trésorier (séance du 18 juin, page 330).

15° *Constructions en acier*, par M. Gautier (séance du 18 juin, page 339).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Boistel, membre de la Société, une Note sur les *Fours Siemens*.

2° De M. Jules Gaudry, membre de la Société, une Notice sur François Cavé.

3° De M. Gaget, membre de la Société, trois photographies représentant : 1° *le travail exécuté dans ses ateliers pour le redressage et l'ajustage des plaques en bronze de la colonne Vendôme;* 2° *l'échafaudage exécuté pour le montage de la colonne.*

4° De M. Le Brun (Raymond), membre de la Société, un exemplaire de *l'instruction pour la pose de la voie*, ainsi que l'*Album du matériel de la voie des chemins de fer du Sud-Est, et de la Compagnie des Dombes.*

5° De M. Monnot, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure intitulée : *la Barbabietola e il suo zucchero.*

6° De M. Chopin, membre de la Société, une note sur le *Chemin de fer d'intérêt local du Blayais.*

7° De M. Gillot (Auguste), membre de la Société, un mémoire sur la *Théorie de la chaleur.*

8° De M. Goschler, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur l'*Exploitation du chemin de fer de Smyrne à Gusel-Hissar-Aïdin.*

9° De M. Alcan, membre de la Société, un exemplaire de la deuxième édition de son *Traité de la filature du coton* (texte et atlas).

10° De M. A. Crespin, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur *la poste atmosphérique.*

11° De M. Michelet, membre de la Société, une étude sur les *Appareils destinés à protéger les organes respiratoires.*

12° De M. Forquenot, membre de la Société, un exemplaire du *Compte rendu des opérations du service du matériel et de la traction pendant l'année* 1874.

13° De M. Molinos, membre de la Société, un exemplaire de son livre intitulé : *La Navigation intérieure de la France, son état actuel et son avenir.*

14° De MM. Mignon et Rouart, membres de la Société, un exemplaire d'une note sur un projet de *Transport atmosphérique entre Paris et Versailles* (brevet du 31 janvier 1868).

15° De M. Rey, membre de la Société, une note sur le *Crayon Faber*, dit : *Crayon à copier et ses applications à la reproduction des dessins.*

16° De M. Casalonga, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage intitulé : *Eléments proportionnels de construction mécanique.*

17° De M. Faliès, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur les *Chemins de fer à faible trafic.*

18° De M. Jordan, membre de la Société, un exemplaire de son *Album du Cours de Métallurgie* (texte et atlas).

19° De M. Galland, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur les *Faits et observations sur la brasserie.*

20° De M. Krantz, ingénieur en chef des ponts et chaussées, un exemplaire de ses observations au sujet des *Chemins de fer d'intérêt général et local.*

21° De M. Thoyot, inspecteur général des ponts et chaussées, un exemplaire de sa note sur la *Détermination du nombre minimum de freins à introduire dans les trains de chemins de fer.*

22° De M. Gautier, membre de la Société, un exemplaire de l'*Etude sur l'emploi de l'acier dans les constructions*, par M. J. Barba, ingénieur des constructions navales.

23° De M. De Cœne, membre de la Société, un exemplaire d'une

notice sur la *Crise des chemins de fer, le moyen de la prévenir et de la combattre.*

24° De M. Vauthier, membre de la Société, un exemplaire de son rapport au Conseil municipal de Paris, sur le *Rachat des canaux de l'Ourcq et de Saint-Denis.*

25° De M. Mors, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur l'*Appareil électro-sémaphorique* de MM. Tesse, Lartigue et Prudhomme.

26° De M. Dehérain, un exemplaire des *Annales agronomiques.*

27° De M. Bazaine, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur le *Contrôle de l'exploitation technique des chemins de fer anglais.*

28° De M. Baudry, éditeur, un exemplaire d'un mémoire sur les *Etuves à farines, leur théorie et leur construction*, par M. Ordinaire de Lacolonge.

29° De M. Aylmer, membre de la Société, une exemplaire de sa notice sur les *Règles pour déterminer facilement la tension des fils sur les lignes télégraphiques.*

30° De M. Mathias (Ferdinand), membre de la Société, un exemplaire de son *Rapport fait à la Société industrielle du nord de la France sur le concours de* 1874.

31° De MM. Crouzet et Colombat, un exemplaire de leur mémoire sur *leur navire insubmersible*, nouvelle application de l'air comprimé.

32° De M. Letellier, membre de la Société, un exemplaire de son mémoire sur les *Chemins de fer projetés dans Paris.*

33° De la *Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne,* le numéro du troisième trimestre 1874 de son bulletin.

34° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du deuxième trimestre 1874.

35° De la *Revue d'architecture*, les numéros 3 et 4 de l'année 1875.

36° De la Revue *les Mondes*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

37° Du journal *The Engineer*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

38° De la *Société d'encouragement*, les numéros du deuxième trimestre 1875 de son bulletin.

39° De la *Société de géographie*, les numéros du deuxième trimestre 1875 de son bulletin.

40° De la *Société nationale et centrale d'agriculture*, les numéros de juillet et août 1874 de son bulletin.

41° Des *Annales des chemins vicinaux*, les numéros du premier trimestre 1875.

42° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du premier trimestre 1875.

43° De la *Revue des Deux Mondes*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

44° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

45° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

46° Du journal de la *Revue industrielle*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

47° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

48° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

49° Du journal *le Cosmos*, les numéros du premier trimestre 1874.

50° De la *Société des Ingénieurs portugais*, les numéros du quatrième trimestre 1874 de son bulletin.

51° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

52° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

53° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

54° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du premier trimestre 1875.

55° Du journal *la Houille*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

56° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

57° De l'*Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége*, les numéros du troisième trimestre 1874 de son bulletin.

58° Du journal *Engineering*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

59° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

60° *Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne*, le quatrième numéro de son bulletin de 1874.

61° *Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube*, le tome XVI de la quatrième série de son bulletin.

62° *Institution of civil Engineers*, le numéro de leurs *Minutes of Proceedings* de 1874.

63° *Société des Ingénieurs anglais*, le numéro de leurs *Transactions* pour l'année 1874.

64° Du *Comité des forges de France*, le numéro 89 du bulletin.

65° De la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros d'octobre, novembre et décembre 1874 de son bulletin.

66° De l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, les numéros 29 et 30 de son bulletin.

67° Des *Annales des mines*, les numéros des 1re et 2e livraisons de 1875.

68° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros du premier trimestre 1875.

69° De l'*Aéronaute*, bulletin international de la navigation aérienne, le numéro du premier trimestre 1875.

70° Du *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros du premier trimestre 1875.

71° *Sucrerie indigène (La)*, par M. Tardieu, les numéros du premier trimestre 1875.

72° *Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro du troisième trimestre 1874 de son bulletin.

73° *A Magyar Mémök-Egyesület Közlonye*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

74° De la *Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers*, les numéros de son bulletin du premier trimestre 1875.

75° De la *Société scientifique industrielle de Marseille*, les numéros de l'année 1874 de son bulletin.

76° *Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre*, les numéros 5 et 6 de 1874 de son bulletin.

77° *Société des Arts d'Edimburgh*, le premier numéro de 1874 de son bulletin.

78° De l'*Encyclopédie d'architecture*, le numéro du premier trimestre de 1875.

79° *De l'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures*, les numéros du deuxième trimestre de son bulletin de l'année 1875.

80° *Institution of Mining Engineers*, les numéros de leurs *Transactions*.

81° De l'Institution *of Mechanical Engineers*, les numéros du troisième trimestre 1874 de son bulletin.

82° *Annales industrielles*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

83° De la *Société des Ingénieurs civils d'Écosse*, son bulletin du quatrième trimestre de 1874.

84° De la *Société industrielle de Rouen*, les numéros de son bulletin pour l'année 1874.

85° *De la Société de Physique*, les numéros de son bulletin du quatrième trimestre de l'année 1874.

86° Du journal *le Courrier municipal*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

87° Du journal *le Moniteur des chemins de fer*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

88° De la *Gazette des Architectes*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

89° De la *Société industrielle de Reims*, les numéros de son bulletin de janvier et février 1874.

90° De la *Revue horticole*, les numéros du premier trimestre 1875.

91° De la *Gazette du Village*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

92° De la *Société des Ingénieurs autrichiens*, les numéros du quatrième trimestre de 1874, de leur *Revue périodique*.

93° Du journal *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, les numéros 1 et 2 de 1875.

94° Du journal *el Porvenir de la Industria*, les numéros des premier et deuxième trimestres 1875.

Les Membres admis pendant ce trimestre sont :

Au mois d'avril.

MM. Angevère, présenté par MM. Arnoldi, Gottschalk et Komarnicki.
Auderut, présenté par MM. Asselin, de Bonnard et Fouché.
Aylmer, présenté par MM. Lartigue, Loustau et Jousselin.
Berthier, présenté par MM. Cazes, Molinos et Rubin.
Breton, présenté par MM. Guillaume, Joyant et Le Roy.
Crampton, présenté par MM. Bergeron, Lavalley et Loustau.
Dallemagne, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Orsatti.
Donon, présenté par MM. Ermel, Lavalley et A. Tresca.
Ducros, présenté par MM. Estoublon, J. Morandière et E. Morandière.
Dupuis, présenté par MM. Beudin, Lemoine et Maure.
Gautier, présenté par MM. Courras, Demanest et Valton.
Gondolo, présenté par MM. Callon, Carimantrand et Mallet.
Harpe (De la), présenté par MM. de Blonay, Marché et Ronna.
Hersent, présenté par MM. Badois, Joyant et F. Mathieu.
Lantin, présenté par MM. Denise, Muller et Xavier.
Legard, présenté par MM. Badois, Belin et Deroide.
Levêque, présenté par MM. E. Barrault, Chabrier et Jequier.
Ménager, présenté par MM. Jordan, Loustau et Molinos.
Payard, présenté par MM. Fichet, Molinos et Muller.

MM. Pernolet, présenté par MM. Cornuault, Jordan et Molinos.
Remaury, présenté par MM. Desnoyers, Jordan et Lencauchez.
Rolin, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Orsatti.
Rouget, présenté par MM. Denise, Muller et Xavier.
Roze, présenté par MM. Callon, Carimantrand et Marché.
Simon, présenté par MM. Badois, Mathieu et Rubin.
Vellut, présenté par MM. Bellet, Carimantrand et Marché.

Comme Membres associés :

MM. Brichaut, présenté par MM. Callon, Loustau et Œschger.
Desouches, présenté par MM. Carimantrand, Guérin de Litteau et Marché.
Nicaise, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Orsatti.

Au mois de mai.

MM. Benoît, présenté par MM. Huet, Pottier et Séverac.
Courtois, présenté par MM. Champouillon, Hallopeau et Jullien.
Desjardins, présenté par MM. Lainé fils, Lemaréchal et Monbro.
Fleury, présenté par MM. Banderali, Lavalley et Morandière.
Lockert, présenté par MM. Alcan, Barrault et Molinos.
Mors, présenté par MM. Mallet, Molinos et Peligot.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1875

Séance du 2 Avril 1875.

Présidence de M. Lavalley.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 mars est adopté.

M. le Président annonce le décès de M. Petitgand, l'un de nos anciens et distingués collègues. Petitgand, natif de la Moselle, avait fait de fortes études au collége de Metz. Après avoir été, en 1830, élève de Blanqui aîné à l'École supérieure du Commerce, il avait conquis à l'École des Mines de Paris le diplôme d'ingénieur civil des mines, et avait débuté dans la pratique par des fonctions à l'établissement de la Vieille-Montagne.

Je n'entrerai pas dans les détails de sa carrière d'ingénieur; il mettait ses connaissances et son expérience au service des grands industriels, des Compagnies financières, des directeurs d'établissements métallurgiques, et il a exploré dans ces conditions tous les pays de l'Europe : l'Espagne, l'Italie, la Suisse, la Russie, jusqu'à l'Oural et aux confins de la Sibérie où aucun ingénieur n'avait pénétré depuis Humboldt; il a parcouru aussi l'Algérie et l'Égypte, et dans toutes ces étapes d'ingénieur il s'est distingué par la sûreté de son jugement et la sagesse de ses conseils à ceux qui lui confiaient leurs intérêts.

Je ne veux pas terminer cette courte communication sans parler aussi de l'aménité de son caractère et de l'empressement avec lequel il aimait à rendre service à ses amis.

Enfin, je rappellerai un des derniers actes de sa vie, le don qu'il a fait à la bibliothèque de la Société de sa belle collection du *Journal des Mines*.

M. Lavalley cède le fauteuil à M. De Dion, vice-président, et donne la description du four Crampton.

Deux grands progrès ont été réalisés depuis quelques années dans l'art de puddler le fer. J'entends, d'une part, la substitution du puddlage mécanique au puddlage à bras, et, de l'autre, une meilleure utilisation du combustible par la distillation du charbon dans une partie distincte de l'appareil, et la combustion du gaz obtenu dans un gigantesque chalumeau à courant double de gaz et d'air,

Le puddlage mécanique a deux avantages : il supprime un travail des plus pénibles et, par un meilleur brassage, permet un affinage plus complet.

De même le four à gaz fait réaliser deux progrès : il donne plus de chaleur avec une moindre consommation de combustible et, par l'élévation de la température, il rend faciles des actions chimiques qu'avec les anciens fours on ne pouvait commodément produire.

Je viens vous parler d'une nouvelle solution du problème : puddler mécaniquement, sous l'action d'une très-haute température.

Le four Crampton puddle mécaniquement en tournant autour d'un axe horizontal, comme le four Menélaus, le four Danks.

Une haute température est obtenue économiquement par la combustion du charbon pulvérisé en poudre impalpable. Ce dernier point est peut-être le trait caractéristique de l'appareil.

L'idée de pulvériser le combustible n'est pas nouvelle.

La combustion n'est que la combinaison de corps combustibles avec l'oxygène. Cette combinaison ne peut avoir lieu que lorsqu'il y a contact de molécule à molécule entre ces corps.

Pour multiplier ce contact, le chimiste recourt à la liquéfaction, soit par la fusion, soit par la dissolution, ou il gazéifie un ou plusieurs des corps qui doivent réagir les uns sur les autres. Quand ces moyens sont impossibles, il recourt à la pulvérisation. Les fours à gaz reposent sur l'emploi du premier procédé ; la distillation du charbon amène à l'état gazeux les éléments combustibles, il est plus facile de les mieux mélanger dans cet état avec l'air comburant, et l'on n'est plus obligé, comme quand on veut brûler la houille directement, d'introduire un aussi grand excès d'air.

Le moyen de la pulvérisation pour faciliter la combustion, et mêler intimement la poussière à l'air, a dû se présenter naturellement à l'esprit des hommes qui cherchaient à tirer un meilleur emploi du combustible, tous les jours plus cher.

Voici comment cette idée est réalisée dans le four Crampton.

Le four proprement dit, le laboratoire tourne, comme le four Menélaus, comme le four Danks, autour de son axe horizontal. Mais la flamme ne le traverse pas. Le combustible en poudre arrive dans le four, porté par l'air qui y est insufflé et cet air, pour arriver au four, traverse une chambre fixe par laquelle passent également les produits de la combustion pour aller à la cheminée.

Suivons le combustible depuis sa pulvérisation, et je décrirai à mesure les différentes parties de l'appareil.

Le charbon se broie simplement au moyen des meules ordinaires des moulins à farine, tournant de même autour d'un axe vertical.

La poudre est amenée par des transporteurs mécaniques ordinaires, qu'il est inutile de décrire, dans un réservoir cylindrique vertical.

Dans ce cylindre tourne lentement un axe vertical portant quelques rayons qui remuent le charbon et en facilitent la descente dans une trémie placée au fond du réservoir.

L'extrémité inférieure de la trémie est recourbée horizontalement et est fermée par une feuille de tôle percée d'une ouverture touchant à la paroi inférieure de la trémie.

Cette paroi inférieure se prolonge jusqu'à toucher la partie supérieure d'un cylindre horizontal. Ce cylindre et celui qui est placé au-dessus tournent d'une même vitesse

tangentielle, et en sens contraire l'un de l'autre, comme les cylindres d'un laminoir. Cette vitesse de rotation ne varie jamais ; mais on peut, en augmentant ou en diminuant l'écartement des deux rouleaux, augmenter ou diminuer le débit.

Il est nécessaire, pour la parfaite régularité de combustion qu'on cherche à obtenir, que, pour un même écartement, le débit ne puisse pas varier. Il faut, pour cela, que la charge derrière les cylindres reste toujours à peu près la même et, surtout, que le tassement de la poudre soit constant, c'est ce qu'on obtient par la disposition suivante.

Dans le bas de la trémie tourne lentement une petite roue à palettes qui amène le charbon à l'ouverture. Le charbon, ainsi poussé sur le plan incliné qui va au cylindre, s'y accumule, et bientôt le haut du tas formé atteint le sommet de l'ouverture. Quand cette dernière est ainsi fermée, les palettes ne peuvent plus repousser de charbon au dehors, elles entraînent tout simplement dans leur rotation le charbon qu'elles compriment entre elles.

Si les cylindres distributeurs marchent, ils prendront au tas amené par les palettes ; l'ouverture de la trémie se dégagera du haut et les palettes feront sortir de la poudre, mais seulement pour remplacer ce qui aura été enlevé. La hauteur de la charge des cylindres est la hauteur à peu près constante du tas qui se forme devant l'ouverture.

Il suffit donc que la roue à palettes débite plus que ne doivent jamais le faire les cylindres.

Au sortir du distributeur, la poudre de charbon suit une seconde trémie, très-inclinée, aboutissant au haut et en avant d'un tuyau horizontal évasé en pavillon, dans lequel pénètre de quelques centimètres un tuyau de plus petit diamètre amenant l'air du ventilateur. L'air sortant de cette buse fait appel de l'air extérieur par l'espace annulaire qui la sépare du tube, et le courant ainsi produit entraîne le charbon mélangé avec l'air.

Le tuyau portant l'air et le combustible, de rond qu'il est sur tout son parcours, s'aplatit à son extrémité qui aboutit à une ouverture de même forme dans la paroi antérieure du premier compartiment ou *flue-piece*.

Ce compartiment, qui communique par une large ouverture circulaire avec le four proprement dit, sert aussi au dégagement des produits de la combustion ; il communique donc aussi avec la cheminée. L'air, chargé de charbon, lancé par une pression de 5 à 6 centimètres d'eau, traverse le flue-piece, arrive dans le laboratoire, pénètre jusqu'au fond, et, revenant sur lui-même, se dégage par le flue-piece et la cheminée.

Par ce moyen, dans le four lui-même se font la volatilisation des éléments gazeux, l'inflammation, la combustion et l'utilisation de la chaleur produite.

Comme je le disais en commençant, le four est cylindrique et tourne autour de son axe horizontal. Son enveloppe en tôle est partout à double épaisseur, ce qui permet d'y faire circuler de l'eau dans tous les points. Pour cela le fond porte en son centre une tubulure divisée par une cloison longitudinale en deux compartiments. De ces deux compartiments, l'un amène, par un tuyau qui pénètre dans l'enveloppe du four jusqu'à l'extrémité antérieure, l'eau froide. L'eau chaude est retirée par un second tuyau qui part de l'arrière du four et aboutit au second compartiment de la tubulure pour, de là, aller refroidir le flue-piece, également à double enveloppe, d'où elle sort pour tomber dans l'égout général de l'atelier.

Le four cylindrique porte deux cercles tournés, reposant chacun sur deux galets.

Il reçoit le mouvement de rotation d'un moteur spécial qui fait tourner une vis sans fin, engrenant avec une roue boulonnée sur le fond du four.

Le flue-piece ne participe pas, bien entendu, au mouvement rotatif du four. Mais il peut se déplacer de manière à laisser libre l'entrée du four. Son ouverture qui le met en communication avec le four a la même section que l'entrée de celui-ci et peut s'y appliquer exactement.

Il y a plusieurs moyens de déplacer le flue-piece. Tantôt il tourne autour d'un axe vertical comme une porte sur ses gonds, tantôt il est pendu devant le four par des tringles, tantôt enfin il se déplace en oscillant comme un pendule dont le point de suspension se trouverait au-dessus de sa position normale. M Crampton semble s'être arrêté à la première disposition qui permet une manœuvre facile et prompte du flue-piece, et aussi la visite et l'entretien commode de sa garniture.

Je ne saurais entrer ici dans le détail de tous les agencements ingénieux, simples et solides que M. Crampton a su trouver; ils prévoient bien les efforts, les mouvements divers qu'ils auront à supporter. La visite et le remplacement en sont des plus faciles.

L'eau qui circule partout et qui, sans y être introduite en grande quantité, ressort seulement tiède, empêche les inégalités de dilatation et les déformations. Aussi le roulement du four sur ses galets se fait-il sans effort, et les deux cercles du flue-piece et du four qui tournent l'un contre l'autre ne laissent pas passer de scorie. Le refroidissement y est si complet qu'on peut pendant que le four est en feu y porter la main.

La garniture joue, dans le puddlage au four rotatif, un rôle des plus importants; j'en parlerai donc avec quelque détail. On peut employer diverses matières comme garniture. Celle qui est le plus en usage provient de fours à réchauffer dont on a, dans ce but spécial, formé la sole avec des riblons et des pailles de train. A défaut de cette matière on emploie des minerais riches en fer et aussi exempts que possible de soufre, de phosphore et de silice, ou bien encore des scories de four à puddler qu'on enrichit en y incorporant de l'oxyde de fer.

Il y a plusieurs manières de faire la première garniture : la plus simple est peut-être de verser dans le four des scories en fusion et d'y jeter ensuite des morceaux de ces scories froides. L'extrémité se garnit en y projetant avec le rabot la scorie liquide.

Une première partie du four étant ainsi garnie, on fait tourner d'un cinquième ou d'un sixième de tour et on recommence jusqu'à ce que tout le pourtour ait été garni.

La garniture se répare après chaque charge en projetant à la pelle dans le four du côté le plus dégradé des morceaux de scorie cassés à l'avance. On réserve toutefois à la partie antérieure un espace libre où vient s'accumuler la scorie fondue. C'est de ce bassin qu'à l'aide d'un rabot on jette sur les morceaux de scorie de la scorie liquide qui s'introduit dans les joints, et fait comme un ciment reliant entre eux tous les fragments projetés. On termine en remplissant le petit bassin de scorie de morceaux de garniture.

Suivons maintenant le travail du four.

Il faut avant tout le réchauffer.

A cet effet, après avoir déplacé le flue-piece, on introduit dans la chambre tournante une certaine quantité de bois qu'on allume; le feu étant bien pris, on replace le flue-piece, on le cale et on abaisse la tuyère dont l'orifice se trouve en regard de

son ouverture antérieure et l'on donne le vent (sans charbon). Le four ne tarde pas à rougir, et lorsqu'il est suffisamment chaud, on mélange à l'air une certaine quantité de charbon en poudre dont la proportion augmente avec la chaleur du four. Au bout d'une heure au plus environ, on peut y introduire la première charge de fonte.

Au bout de 30 à 40 minutes, pendant lesquelles le four reste immobile, la fonte est en fusion. On arrête alors le vent pendant 7 à 8 minutes, puis on coule la scorie qui s'est amassée au-dessus du bain de fonte, de manière à n'en laisser que la quantité nécessaire à la suite de l'opération. Cette coulée se fait en débouchant le tap-hole qui se trouve sur la face antérieure du four au-dessous de son ouverture.

On donne alors le vent et le charbon en dirigeant la tuyère vers le haut du cylindre, puis on met le four en mouvement à la vitesse de 3 à 4 tours par minute. L'ébullition commence aussitôt, et grandit d'instant en instant. Au bout de 14 à 15 minutes la montée de la fonte est achevée et le fer apparait tout formé. Le four est alors arrêté. Le puddleur déblaye le flue-piece du fer qui s'y trouve en le rejetant dans le four. On fait quelques tours dans un sens et dans l'autre de manière à souder à la masse du feu spongieuse les parcelles encore éparses dans le bain. On arrête le four pour s'assurer que toutes les parties de la boule sont suffisamment épurées et soudables, puis on recommence le mouvement pour opérer le ballage, c'est-à-dire pour donner à la masse de fer une forme allongée et à section circulaire.

Lorsque ce point est atteint, on introduit dans le four, après en avoir écarté le flue-piece, une grande fourchette à deux dents que l'on place de champ contre la boule. En faisant tourner le four d'un quart de tour, de manière à rendre la fourchette horizontale, la boule vient d'elle-même se placer sur ses dents. La fourchette, qui est suspendue à une grue, est alors retirée du four avec la boule, et celle-ci déposée sur un chariot qui la conduit au pilon où on la cingle.

Aussitôt que la boule est hors du four, on procède à la réparation de la garniture, comme je l'ai décrit plus haut.

On peut résumer la description du four Crampton en disant que c'est un four Danks, ouvert par une seule extrémité et dans lequel le charbon projeté à l'état pulvérulent s'y consume en produisant une température très-élevée, et aussi, ce qui est un point essentiel, tout à fait régulière.

De cette température élevée, nous avons la preuve dans la rapidité avec laquelle le four s'échauffe et la fonte y entre en fusion.

La régularité est assurée, puisque, pour peu que la machine qui fait mouvoir les distributeurs tourne d'une vitesse égale, il entrera à chaque instant la même quantité de charbon et la même quantité d'air, et d'air non chauffé, c'est-à-dire d'air dont la température est sensiblement invariable par rapport à la température élevée du four.

A chaque instant, aussi, le puddleur peut faire varier la quantité et la proportion d'air et de charbon projetés dans le four : par les poignées qu'il a sous la main, à l'avant du flue-piece, il peut changer l'écartement et, par conséquent, le débit des cylindres distributeurs, il peut ouvrir ou fermer un papillon dans le conduit qui amène le vent.

La ténuité des éléments combustibles et surtout, peut-être, leur mélange intime avec l'air permettent, tout en obtenant une combustion complète, d'abaisser l'excès d'air introduit à une proportion qu'il semble qu'on n'avait encore pu atteindre. C'est à cette combustion complète, sans excès sensible d'air, qu'on doit de pouvoir, dans

NOMBRE de charges.	HEURES.	MOYENNE de temps par chaque charge.	POIDS de fonte chargée.	POIDS du fer produit.	FER extrait de la garniture.	Mise au 00/00 (pour 1000 kil. de fonte).	TOTAL de la garniture employée.	GARNITURE employée pour 00/00 de fer.	TOTAL de charbon employé.	CHARBON employé par 1000 kil. de fer.
112	181h,49	1h,38	55,724k	66,119k	10,303k	1186k	53,811k	825k	40170k	607k

le four Crampton, maintenir presque indéfiniment la température maximum sans brûler la moindre partie de la boule.

Les mêmes causes, jointes à l'utilisation de la chaleur, au point même où se fait la combustion, produisent encore une économie notable de combustible.

Des nombreuses et longues expériences faites à Woolwich, il résulte que, en mettant dans le four la fonte froide, on ne brûle pas plus de 600 kilogrammes de houille par tonne de fer produite.

La consommation diminue notablement si le four reçoit de la fonte fondue ou si seulement on utilise la chaleur perdue à réchauffer la fonte.

Le brassage mécanique dans les fours tournants, quel que soit le mode de chauffage adopté, outre qu'il permet, grâce à l'affinage de la garniture, de sortir du four plus de fer qu'on n'a mis de fonte, donne encore des produits plus purs.

Ces deux avantages se présentent d'une manière plus signalée encore dans le four Crampton; ainsi on verra dans le tableau ci-contre que l'on a sorti du four un poids de fer dépassant de 18 1/2 0/0 le poids de la fonte mise au four.

Mais le résultat de l'emploi du four Crampton, le plus remarquable, est la grande pureté du fer. Ainsi, avec les fontes communes du Cleveland, contenant 1 1/2 0/0 de phosphore, on a obtenu des fers tout à fait comparables aux fers de Lowmoor et de Bowling:

Par exemple, des tôles de 19 millimètres d'épaisseur, des barres carrées de 70 millimètres de côté, se repliant sur elles-mêmes sans aucune apparence de criques; des fils de fer à carde, d'un tiers de millimètre de diamètre, enfin des fers susceptibles d'être convertis, au four Martin-Siemens, en excellent acier.

Il y a quelques semaines, M. Barnaby, le directeur des constructions navales de la marine royale anglaise, faisait à la Société des constructeurs de navires une communication sur l'emploi du fer et de l'acier dans les coques de bateaux. Il regrettait que l'acier exigeât, dans sa manipulation, des soins si minutieux, que s'ils peuvent peut-être s'obtenir dans les arsenaux de l'État, il semble néanmoins qu'on ne saurait en recommander l'usage pour les bâtiments construits dans les chantiers du commerce.

Passant au fer et à la tôle, il dit : «

« M. Crampton a récemment réussi à produire dans son « four tournant un excellent fer très-homogène. Avec la « permission du département de la guerre » (c'est à ce département qu'appartiennent les ateliers de Woolwich, où M. Crampton a établi et perfectionné son premier four),

« nous avons pu éprouver des tôles, des fers d'angles, des barres de fer obtenues « par l'affinage de vieux obus et de boulets.

« Les résultats en sont des plus satisfaisants. Les épreuves à chaud sont supé- « rieures à celles du fer Best-Best, et les épreuves à froid sont égales à celles des « fers de Bowling, Lowmoor et Fornley.

« La résistance à la tension des tôles avant poinçonnage n'est pas très-élevée et a « quelque irrégularité. Voici ce que nous avons trouvé :

« Suivant le laminage, la résistance à la traction est de 27 à 36 kilogrammes par « millimètre carré, alors que le feu Best-Best porte 34. En travers du laminage, « elle est de 26 1/2 à 32 kilogrammes, contre 28 pour le Best-Best. La densité « moyenne a été de 15 1/2 pour 100.

« Le poinçonnage fatigue beaucoup moins ce fer que le Best-Best, si bien que les « tôles Crampton rivées étaient plus fortes que les tôles Best-Best. »

M. Barnaby cite des expériences faites sur des tôles Crampton cisaillées en bandes de 60 millimètres de large réunies par un rivet de 22 millimètres. La rupture ne s'est produite que sous des efforts variant de $24^k.8$ à $26^k.3$.

Dans d'autres expériences on a rompu par traction des tôles Crampton et Best-Best, moins épaisses, 9 millimètres et demi, cisaillées en bandes de 50 millimètres, réunies deux à deux par un rivet de 19 millimètres. La moyenne de 8 essais pour chacun des deux fers a donné :

Pour le Best-Best, un effort de traction de 25 kilogrammes; pour la tôle Crampton un effort de 29 kilogrammes.

M. Barnaby conclut en disant: « Ce fer a une supériorité particulière, il est homo- « gène, sans doublure, sans soufflure. Il est compacte et serré comme de l'acier.

« Je désire persuader à M. Crampton que, si grande qu'ait été sa réussite, il ne « doit pas considérer sa tâche comme accomplie, il faut que par son procédé il nous « donne de l'acier. »

Depuis longtemps, M. Crampton fait des essais dans ce sens et ne doute pas d'y parvenir.

De nombreux essais ont été faits sur le fer Crampton obtenu de fontes inférieures; j'ai cru devoir citer ceux de M. Barnaby à cause de leur caractère officiel. Tous ceux dont j'ai eu connaissance ont donné des résultats aussi remarquables.

M. Barrault. Sans vouloir déprécier le mérite du four de M. Crampton, il faut remarquer qu'il rentre dans la catégorie des fours rotatifs déjà connus par les résultats obtenus par d'autres inventeurs, Danks, Pernot, etc. M. Crampton les a surtout perfectionnés beaucoup par l'emploi du combustible en poudre, mais il est bon de rappeler que M. Sellers a déjà proposé la disposition qui consiste à faire sortir les gaz par le même côté où ils sont entrés, disposition très-bien appliquée dans le four qui vient d'être décrit. M. Jordan pourrait peut-être renseigner la Société sur le four Sellers.

M. Lavalley. Mon intention n'est pas d'entrer dans une question de priorité. J'ai vu fonctionner l'année dernière en Angleterre le four Crampton. J'ai été frappé des résultats qu'il donne et de la bonne qualité des fers obtenus, et j'ai pensé qu'il serait intéressant pour la Société de le connaître.

M. Jordan, répondant à l'appel de M. Barrault, dit qu'il a cherché en vain à obtenir des renseignements sur le fonctionnement du four Sellers, qui n'a pas été essayé en France ni en Angleterre, et qui ne paraît pas être sorti des essais chez l'inventeur à Philadelphie. En ce qui concerne le four Crampton, M. Jordan a été frappé d'abord

de son mode de chauffage et de l'énorme température qu'il procure avec une dépense de combustible modérée, réalisant ainsi un progrès notable sur les autres fours rotatifs à puddler, chauffés, soit à la manière ordinaire avec une grille, soit au gaz. D'après ce qui lui a été rapporté par des visiteurs de Woolwich, la chaleur du four Crampton est bien supérieure à celle des autres fours rotatifs. Avec son espèce de chalumeau injectant de l'air forcé et du charbon en farine, M. Crampton aurait, dit-on, fondu aisément le fer forgé. Ce fait rappelle à M. Jordan une conversation déjà ancienne avec M. H. Sainte-Claire-Deville, dans laquelle ce savant chimiste et physicien exprima son opinion qu'on obtiendrait des températures plus élevées avec le charbon solide qu'avec le gaz oxyde de carbone. Le four Crampton brûle seulement environ 500 kilogrammes de houille en farine par tonne de fer obtenu, tandis que, lorsqu'on veut dans le four Danks, avec une chauffe soufflée, arriver à de bonnes chaleurs, on consomme jusqu'à 1,500 et même 2,000 kilogrammes et au delà. On sait que dans le puddlage ordinaire la consommation est environ 1,000 à 1,200 kilogrammes en moyenne de houille par tonne de fer obtenu.

M. Lavalley. Quelques essais ont été tentés précédemment pour employer des combustibles pulvérisés, notamment par M. Corbin-Desboissières. M. Houël me disait, il y a quelques jours, qu'il avait construit pour le chemin de fer d'Orléans, sous la direction de M. Polonceau, une chaudière dans laquelle on devait essayer de brûler du charbon en poudre. Il ne semble pas que ces essais aient réussi.

La disposition générale et l'agencement mécanique du four Crampton ont, au contraire, réalisé d'une manière fort heureuse l'idée de brûler du charbon pulvérisé, et le progrès atteint a été double : d'une part la consommation de combustible s'est trouvée fort réduite, et de l'autre on a obtenu du fer de très-bonne qualité avec des fontes très-médiocres, très-phosphoreuses. A quoi est dû cet affinage plus complet? L'expérience avait montré que le puddlage mécanique, soit dans le four Danks, soit dans le four Pernot, produisait, grâce à son brassage beaucoup plus énergique et complet, un fer plus affiné que le puddlage à bras.

Mais le four Danks lui-même paraît dépassé, sous ce rapport, par le four Crampton. Et cependant le mode de brassage est identiquement le même. Il semble donc que la supériorité du fer obtenu dans le four Crampton doit être attribuée à son mode de chauffage et aux appareils par lesquels il l'applique, qui permettent d'obtenir une température excessivement élevée d'une régularité parfaite, et une atmosphère gazeuse dont on détermine comme on veut le pouvoir oxydant ou désoxydant.

M. Crampton a fait ses essais à Woolwich dans les ateliers de l'artillerie. Les premiers résultats ont été tellement remarquables qu'une commission d'examen composée des chefs des principaux arsenaux de l'Angleterre a été réunie pour vérifier la qualité des fers obtenus par ce nouveau puddlage. Cette commission a constaté les mêmes faits.

A son tour le service des constructions navales de l'amirauté s'est ému de ce qu'il apprenait sur la valeur du fer obtenu par le nouveau four. Il a refait pour son compte les expériences dont le chef de ce service communiquait les résultats à l'association des constructeurs de navires, dans les termes que j'ai rappelés.

Plusieurs maîtres de forges suivaient les essais du four Crampton, et constataient la même pureté de ses produits. Avec des fers obtenus, sous leurs yeux, par l'affinage de vieilles fontes de Woolwich, contenant une assez grande quantité de phosphore, ils firent de l'acier qui se trouva être d'excellente qualité. Aussi, deux éta-

blissements importants ont-ils déjà monté des fours Crampton. Dans l'un d'eux plusieurs de ces fours sont en marche depuis quelques jours.

M. Crampton est d'ailleurs présent à la séance, et est prêt à répondre aux questions qui lui seraient posées.

M. Périssé. Si le poids des loupes qui sortent du four Crampton varie de 300 à 700 kilogrammes, ce doit être un désavantage qu'il présente sur d'autres fours, sur le four Pernot par exemple, qui fournit 18 loupes de 40 à 50 kilogrammes, lesquelles sont plus maniables que des loupes de 500 kilogrammes, et qui n'obligent pas à modifier l'outillage ordinaire des forges, ce qu'on devra faire pour les loupes Crampton. D'autre part, quelle houille emploie-t-on? Combien contient-elle de cendres et quelle est la composition de ces cendres? Le rapport qui vient d'être lu n'en parle pas.

M. Lavalley. Dans les essais faits jusqu'ici on a employé 3,000 tonnes environ de houilles de toutes provenances, dont quelques-unes contenaient jusqu'à 21 pour 100 de cendres, sans qu'on ait éprouvé aucune gêne de la part de ces impuretés qui s'écoulent avec les scories. Dans un tableau qui est joint à la description que j'ai donnée du four, il est remarquer que 112 chaudes ont absorbé chacune 690 kilogrammes de houille au maximum; que cette houille était impure et que les conditions de l'emploi étaient mauvaises.

M. Orsat. Avec quel appareil cingle-t-on les loupes? C'est intéressant à connaître, car si malgré leur poids on a obtenu de bon fer, cela tend à prouver que la haute température a dû séparer la plus grande partie des scories. Dans le fer ordinaire, même considéré comme pur, et ayant subi un ou deux corroyages, il reste des scories; M. Tresca l'a prouvé dans son *Étude sur l'écoulement des solides*. Il est donc possible que la séparation du fer d'avec les scories s'opère dans le four même à peu près complétement, ce qui expliquerait la bonne qualité des fers obtenus.

M. Lavalley. C'est en effet l'explication qui en a été donnée par plusieurs métallurgistes anglais. Le cinglage s'effectue avec un marteau-pilon de 6000 kilogr. de 2 mètres de course.

M. Jordan voit deux raisons pour que l'épuration soit meilleure, dans le cas des fontes phosphoreuses qu'on a cité. La première raison, c'est que la garniture d'oxyde et de minerai a une importance très-grande, relativement au poids de la fonte traitée. La surface de cette garniture alternativement baignée par le métal et exposée à la flamme semble plus grande que dans les fours Danks et Pernot, et surtout que dans les fours à puddler ordinaires, où un très-petit bord seulement est en contact avec le fer en formation. C'est un grand avantage au point de vue de l'élimination du phosphore, car on sait que c'est surtout l'oxyde de fer qui agit pour l'expulsion de ce corps. La deuxième raison, c'est que la température est très-élevée, plus élevée probablement que dans le four Danks, et cette haute température donne de la fluidité aux scories. Elle produit probablement aussi quelques effets peu connus, analogues peut-être à celui qui se produit dans l'affinage au bas foyer comtois, c'est-à-dire une espèce de fusion du fer qui expulse la scorie par liquation. On peut dire aussi que la boule du four Danks étant moins chaude et cinglée au squeezer se refroidit plus vite à la surface, ce qui produit une croûte qui s'oppose au départ complet des scories. La boule du four Crampton est plus chaude, se refroidit moins vite et est cinglée au marteau; ce qui élimine mieux les crasses. Sous ce rapport un des échantillons de fer provenant d'une boule martelée, qui nous est présenté, est très-remarquable, en ce que poli il ne présente aucune espèce de tache ou de veine sur sa grande surface plane.

Il paraît certain, d'après les remarquables résultats obtenus, que l'épuration est bonne au point de vue du phosphore et des scories ; mais M. Jordan ne voit rien qui indique qu'il en soit de même au point de vue du soufre, et il ne peut se défendre de quelques doutes à ce sujet. A Woolwich, on a traité surtout des fontes du Cleveland qui sont phosphoreuses, mais peu sulfureuses, avec des houilles assez pures, comme toutes les houilles anglaises. Mais qu'arriverait-il en France avec nos houilles trop souvent pyriteuses et nos fontes souvent sulfureuses? M. Jordan aimerait apprendre ce qui a pu être constaté à ce sujet.

M. Périssé. D'après les chiffres qui viennent d'être donnés, il résulte que le four Crampton consomme 500 à 600 kilogrammes de houille, alors que le four Danks en exigerait quatre fois plus pour l'obtention de la haute température, et on paraît croire que cette différence est due à ce que le charbon est brûlé dans le four Crampton à l'état solide.

Je pense que cela peut tenir à une autre cause, car le four Sellers lui aussi ne brûle que 600 kilogrammes de houille par tonne de fer puddlé, et il est à remarquer que ce four rotatif est caractérisé par l'entrée et la sortie des gaz par la même ouverture, ce qui oblige la flamme à se renverser et à parcourir un chemin plus long dans le four même. C'est donc, sans doute, à ce renversement de la flamme qu'est due, en partie, la bonne combustion et par suite l'économie du combustible. — J'espère, du reste, pouvoir d'ici peu de temps entretenir la Société des résultats obtenus par l'application du récupérateur Ponsard à un four Sellers.

M. Fichet. Un point sur lequel il faut insister pour expliquer la faible proportion de combustible brûlé, c'est le rayonnement du combustible solide sur le métal à échauffer. C'est un fait très-remarquable. A-t-on dans quelques expériences cherché à élever la température en employant de l'air chaud?

M. Jordan. La combustion se fait au sein même de la matière à chauffer : c'est là évidemment la cause de l'économie de combustible. L'air chaud ne produirait vraisemblablement pas une plus haute température, à cause des phénomènes de la dissociation.

M. Orsat. Il y a deux ans M. Siemens a lu à l'*Iron and Steel Institute* un mémoire où il parlait d'un four à acier où la flamme était renversée, et il a dit, si j'ai bonne mémoire, qu'on obtenait une tonne d'acier avec 1,200 kilogrammes de houille; cela équivaudrait à peu près à la consommation du four Crampton, pour l'obtention d'une tonne de fer puddlé.

M. Boistel. Le chiffre donné par M. Siemens était relatif à l'obtention d'une tonne de fer.

M. de Dion. La haute température suffit-elle seule pour éliminer le phosphore? Dans le four Bessemer, où il existe une très-haute température, cette élimination ne se fait pas.

M. Jordan. L'élimination du phosphore dans le puddlage se fait par la transformation de l'oxyde de fer en phosphate de fer. Il n'y a pas, jusqu'à présent, d'autre moyen pratique de déphosphoration. Or, dans le convertisseur Bessemer dont la garniture est siliceuse, il n'y a pas assez d'oxyde de fer en présence du phosphore pour que cette combinaison ait lieu.

M. Gillot. Il est incontestable que la haute température et la pureté de la houille ont une influence énorme sur la bonne qualité du fer.

M. Lavalley. M. Crampton, dans le cours de ses tâtonnements, avait essayé un four à deux chambres; dans la première s'effectuait la combustion du charbon pul-

vérisé, dans la deuxième s'opérait l'affinage, et les fumées sortaient par un orifice opposé à celui d'entrée des gaz. Dans ce four il n'obtenait ni la même température, ni une aussi grande économie que dans le four actuel. Il brûlait 1,200 kilogr. de houille par tonne de fer puddlé, au lieu de 5 à 600 kilogr. qu'il brûle dans son dernier four.

Il admet, pour expliquer ce fait, les deux raisons données par M. Jordan et par M. Fichet, la combustion dans la chambre même où l'on utilise la chaleur, et le rayonnement du combustible solide sur le corps à échauffer.

M. Périssé. On a comparé le four Crampton au four Danks, lequel est chauffé à la houille brûlée sur une grille, et dans lequel on obtient une température moins élevée. Mais lorsque dans ce dernier four on brûlera le combustible à l'état de gaz, on obtiendra une plus haute température, et on consommera moins de combustible.

M. Jordan craint que, malgré cela, on n'arrive pas à une température aussi élevée que dans le four Crampton. En reprenant des calculs analogues à ceux faits par Péclet, au moyen des chaleurs spécifiques, on peut voir que la température théorique de combustion du carbone solide avec l'air est plus élevée que celle de combustion d'un gaz de gazogène par l'air. De plus, le chalumeau à farine de houille paraît un brûleur plus parfait que les brûleurs à lames ou jets de gaz et d'air, et il est peut-être moins sensible que ceux-ci à de légères variations dans la proportion d'air comburant.

M. Lavalley. M. Crampton fait remarquer que dans son four il n'y a pas d'air en excès. Cela est très-important au point de vue de la température et de l'économie de combustible, car ce n'est pas impunément que l'on échauffe l'air inutile à la combustion. A la manière dont il jaugeait l'air introduit, on a toutes raisons de croire que cette quantité a été exagérée et cependant les jaugeages n'ont donné qu'un excès de moins de 15 0/0 de l'air théoriquement nécessaire à une combustion complète.

M. de Bruignac. On a cité le fait que du fer a été fondu dans le four Crampton. A-t-on constaté exactement à quel état était le métal fondu, et quel était son degré de carburation? Ce serait important pour déterminer la température du four.

M. Lavalley. On n'a pas fait ces recherches. Voici le fait : M. Crampton a fondu avec son chauffage au charbon pulvérisé du fer dans des creusets; il en a fondu aussi, dans un four Siemens, la même quantité, mais il y a mis un peu plus de temps.

M. Regnard. Je remarque que la forme pentagonale de l'intérieur du four Crampton est différente du four Danks qui est à peu près circulaire. Cette forme n'a-t-elle pas une influence sur le brassage en laissant retomber la loupe successivement sur les faces planes et en opérant ainsi un commencement de cinglage? Dans le four Danks, on paraît vouloir produire un effet analogue à celui que je suppose ici en incrustant dans la sole des minerais qui font saillie et qui rompent l'uniformité du mouvement tournant de la loupe. J'ai remarqué aussi les faibles allongements constatés dans les barres soumises aux essais et qui ne paraissent pas être en rapport avec la qualité des fers Best-Best, n'est-ce pas une erreur?

M. Lavalley. M. Crampton répond que la forme de l'intérieur du four n'est pas pentagonale de parti pris; elle est un peu irrégulière et résulte de la manière dont se fait et se répare la garniture; mais en tout cas le mouvement est très-lent, et il n'y a pas de chute de la loupe qui ne tombe pas, mais roule simplement comme dans le four Danks.

M. Boistel. La pression du vent est-elle considérable et ne peut-on pas attribuer à cette pression un effet contraire à la dissociation et par suite la haute température du four?

M. Lavalley. L'air s'échappe de la buse avec une pression d'environ 50 millimètres d'eau; mais comme le four communique par une très-grande ouverture avec la cheminée, la pression dans l'intérieur du four ne dépasse pas 6 à 7 millimètres d'eau.

M. Jordan appelle l'attention sur les échantillons qui sont exposés, l'un provenant d'une tôle de Lowmoor fabriquée par les procédés connus, l'autre provenant d'une tôle fabriquée avec une loupe des fours Crampton. Soumises aux mêmes essais de pliage et de poinçonnage, la première a laissé voir des criques et des dessoudures; la seconde n'a été ni dessoudée ni criquée. Cela prouve une homogénéité très-remarquable, et ce serait un grand service rendu à l'industrie du fer que cette transformation de la fabrication de la tôle.

M. Barrault. M. Crampton vient de nous indiquer que son premier four à deux chambres consommait 1,200 kilogrammes par tonne de fer puddlé, tandis que son dernier four, où les gaz entrent et sortent par le même côté, ne consomme que 600 kilogrammes. Il me semble que par ce fait on peut résumer assez bien la discussion : la différence économique ne tiendrait pas au mode d'emploi du combustible à l'état de poudre, mais à la disposition du renversement qui a produit les mêmes résultats dans le four Sellers.

La haute température aurait pour cause, au contraire, le mode d'emploi du combustible à l'état solide.

M. Jordan n'attache pas la même importance à la sortie de la flamme du même côté que le chalumeau à houille pulvérisée. L'économie qui eut lieu tient tout entière à ce que la gazéification, la combustion et le chauffage se font au sein de la matière à chauffer et à affiner.

M. Lavalley. Il est important de noter que dans le four Crampton la combustion se faisant dans la chambre même où le travail se fait, on n'échauffe que le volume absolument nécessaire au travail. Les surfaces de refroidissement sont réduites au minimum.

Au contraire, dans les fours perfectionnés comme dans les fours Danks et Pernot et surtout dans les divers fours à gaz avec gazogènes et récupérateurs, ces accessoires de gazogènes et de récupérateurs forment un volume très-considérable, plus considérable que celui du laboratoire même et leurs surfaces de refroidissement sont très-grandes.

M. Crampton n'a pas essayé de chauffer l'air; il croit préférable d'utiliser la chaleur perdue, soit à chauffer la fonte avant son introduction dans le four à puddler, soit à produire de la vapeur toujours nécessaire dans les forges.

M. Barrault. La disposition pour la circulation extérieure de l'eau dans le four Crampton est sous ce rapport très-remarquable.

M. Lavalley. En dehors du principe et des résultats métallurgiques donnés par le four Crampton, toutes ses dispositions mécaniques sont excellentes, et notamment la circulation d'eau dans toutes les parties leur conserve l'exactitude de leurs formes. Le four tourne après plusieurs mois de marche parfaitement rond, et son joint, qui tourne en touchant celui du flue-pièce, non-seulement ne laisse sortir aucune scorie, mais c'est à peine si, par place, l'œil peut apercevoir, comme une mince lame brillante, l'intérieur tout brillant du four.

Pour répondre à une question qui vient d'être posée, M. Crampton a dessiné au tableau une disposition de four à courant renversé, mais dans lequel on n'aurait pas la même température et la même économie de combustible, parce que la combustion ne se fait pas dans la chambre même de fusion.

M. Clémandot donne communication de sa note sur le verre trempé par le procédé de M. de La Bastie.

J'ai pensé, dit-il, que ma spécialité d'ingénieur verrier me faisait un devoir de venir vous entretenir d'une invention toute nouvelle qui a pour résultat de rendre le verre plus solide, plus résistant aux chocs, plus dur en un mot. C'est à ce verre que l'auteur de la découverte a donné le nom de *verre incassable*.

Cette invention a déjà fait un certain bruit; on s'est imaginé qu'une nouvelle substance vitreuse, élastique, malléable à froid, avait été découverte, il n'en est rien; et l'invention dont il s'agit consiste à faire subir au verre dans certaines conditions une opération analogue à celle que l'on fait subir à l'acier, et que vous connaissez sous le nom de *trempe*.

En trempant donc le verre dans un bain particulier, dont nous parlerons tout à l'heure, on opère un durcissement sur le verre, *on le trempe* et on obtient le résultat que nous allons vous montrer tout à l'heure. Permettez-moi de vous rappeler auparavant l'une des propriétés les plus essentielles du verre, sa non conductibilité de la chaleur. Qu'arrive-t-il quand on laisse refroidir brusquement à l'air une pièce de verre? le refroidissement a lieu inégalement, il en résulte un état de tension, qu'un rien suffit pour détruire, et la pièce de verre éclate, se brise bientôt en mille pièces. D'où la nécessité dans les verreries de refroidir les objets fabriqués avec le plus grand soin, lentement, graduellement. C'est à cette opération que l'on a donné le nom de recuit.

Si au lieu de laisser refroidir le verre dans l'air, on le trempe dans l'eau, et si spécialement c'est une goutte de verre mou sortant du creuset qui est projetée dans de l'eau froide, il se présentera un cas tout particulier. La goutte de verre prendra la forme *d'une larme*, c'est-à-dire une ampoule renflée, terminée par une queue effilée. On a donné à ce produit, nous ne savons pourquoi, le nom de *larmes bataviques*. Ce petit objet jouit de propriétés assez singulières, il est d'une dureté excessive; on peut le frapper avec un corps dur sans le briser. Cependant si l'on parvient à rompre la partie la plus fine, la queue de la larme, la pièce entière se brise et vole en éclats, en poudre pour mieux dire.

Voici ces larmes bataviques :

Cette propriété des larmes bataviques, sur lesquelles nous avons appelé votre attention, est bien certainement le point de départ de la découverte de M. de La Bastie. Mais, seulement, l'inventeur a dû se garder de choisir comme bain de trempe l'eau froide qui aurait brisé immédiatement les pièces de verre que l'on y aurait plongées, de plus l'eau se serait vaporisée à 100°. Il a donc eu l'ingénieuse pensée de chercher quel serait le bain de trempe qui n'aurait pas ces inconvénients; il l'a trouvé, paraît-il, en composant un liquide qu'il chauffe à deux ou trois cents degrés. Ce liquide est formé de résines fondues, d'huiles, de goudron, de cire; il porte donc les pièces de verre au rouge, les trempe dans ce bain, les retire après peu de temps d'immersion, et obtient le verre que voici dur, solide, incassable, si nous le jetons par terre.

Je ne viens pas ici faire des observations, des objections de parti-pris contre cette découverte; seulement, ma pratique de la verrerie me suggère quelques craintes qui me font douter que l'application de la *trempe* du verre soit applicable dans toutes les circonstances.

1° Nous craignons que les objets fabriqués en plusieurs morceaux, en verre rapporté, comme on dit en verrerie, un verre à jambe, par exemple, ne se prête pas facilement à la trempe. D'abord, il sera très-difficile de réchauffer ces pièces pour les porter à la température du trempage, à cause de la non conductibilité du verre; de plus, je me demande si sur des pièces d'inégale épaisseur, sur les soudures, par exemple, l'effet de la trempe sera uniforme.

2° On a dit que le verre trempé devenait aussi plus solide, plus résistant à la chaleur; que l'on pouvait en faire des capsules dans lesquelles on pouvait faire bouillir de l'eau, on a dit que les verres de lampes seraient beaucoup moins cassants. Nous nous demandons si, comme pour l'acier, une pièce trempée, soumise de nouveau à la chaleur, ne se détrempera pas; si le recuit, en un mot, ne le détruira pas.

3° N'oubliant pas l'analogie qui existe entre les pièces trempées de M. de La Bastie et les larmes bataviques, nous nous demandons si la moindre fêlure, la moindre brisure dans le verre trempé ne déterminera pas la rupture immédiate, instantanée, de toute la pièce. M. de La Bastie, qui nous a fait l'honneur de nous répondre à ce sujet, dit que non; il dit que l'on en sera quitte pour ne pas tremper du verre trop fin, trop mince; ce serait cependant, il faut le dire, le cas où le verre aurait besoin de devenir le plus incassable.

4° Nous nous demandons si on pourra tracer, ébarber les feuilles de verres à vitres, par exemple (et ce sera le cas où l'application de la trempe du verre sera la plus utile), sans les briser, nous croyons qu'il faudra que le verre soit trempé à ses dimensions définitives.

5° Nous nous demandons enfin si la composition du cristal à base de plomb ne se refusera pas à la trempe; nons pensons que le plomb se trouverait réduit, deviendrait noir, métallique, subissant la réduction dans un bain éminemment réducteur.

Malgré ces difficultés, dont, nous l'espérons, l'inventeur arrivera à triompher, nous avons pensé que les résultats déjà obtenus étaient dignes d'y attirer l'attention de la Société, et qu'il était bon de fixer l'état actuel de la question, pour qu'on puisse constater les progrès que son inventeur pourra réaliser.

Dans tous les cas, on ne saurait nier qu'il y a là une idée nouvelle fort intéressante, que la pensée de M. de La Bastie de faire subir au verre dans certaines conditions l'opération de la trempe est très-ingénieuse, que les résultats obtenus sont déjà fort curieux, et nous devons faire des vœux pour qu'ils marquent dans l'art de la verrerie un nouveau progrès.

M. Armengaud jeune fils, pour compléter la communication de M. Clémandot, a cru utile d'apporter pour le soumettre à la Société un modèle du four à tremper les verres plats, d'après le nouveau procédé de M. de La Bastie.

M. Armengaud demande la permission de donner quelques détails sur la mise en œuvre du procédé, et sur les appareils et l'outillage qu'il a fallu créer pour réaliser industriellement la nouvelle méthode de trempe du verre. Il est heureux de saisir cette occasion pour offrir aux ingénieurs ses collègues la primeur de l'élément technique de la question qui jusqu'ici a été tout à fait laissé de côté, soit dans les rap-

ports présentés aux sociétés savantes, soit dans les articles de journaux qui ont été publiés sur cette découverte.

Sans revenir sur le principe général de la méthode, très-clairement exposé par M. Clémandot avec la compétence d'un spécialiste distingué, M. Armengaud rappelle les deux points essentiels qui caractérisent le procédé de M. de La Bastie. Ce sont : 1° l'échauffement du verre à une température telle qu'il devienne malléable, et 2° l'immersion du verre à cet état dans un bain composé d'un mélange de plusieurs matières grasses, cire, graisse, huiles, résines, etc., et porté lui-même à une température bien supérieure à celle de l'ébullition de l'eau.

C'est la différence de ces deux températures dans des limites assez élevées qui produit le retrait ou la condensation des molécules du verre, et par suite lui donne la trempe, c'est-à-dire le durcissement cherché.

Or, dans la réalisation pratique de ces deux conditions, M. de La Bastie s'est heurté à de nombreux obstacles, qu'il n'est parvenu à surmonter qu'à la suite de longues et patientes recherches et de tâtonnements incessamment renouvelés.

En premier lieu, il fallait empêcher que le bain de trempe ne s'enflammât en raison de la haute température à laquelle il est porté, ou par son contact avec le verre brûlant. D'un autre côté, il y avait à craindre que le verre rendu malléable ne fût sujet à se déformer dès qu'il est abandonné à lui-même. Enfin il était nécessaire de le manipuler à distance, sans le toucher, et en évitant dans ses mouvements tout choc capable de le briser. Voici comment ces difficultés ont été résolues par M. de La Bastie.

Tout d'abord M. de La Bastie a isolé complétement de l'air extérieur la chaudière ou cuve renfermant le bain de trempe, puis il a mis cette cuve en communication directe avec le four de chauffe. Sur le sol du four, en face de l'entrée de la chaudière, il a disposé une bascule faisant partie même du sol, et sur laquelle on pose le verre à chauffer et à tremper. Cette bascule, étant abaissée, prend une pente qui permet au verre de glisser naturellement dans la chaudière, où il trouve une table mobile dont le plan incliné n'est que la continuation de la pente donnée à la bascule. La feuille de verre peut ainsi changer de place et descendre dans le bain de trempe, sans secousse aucune et en étant constamment soutenue sur toute sa surface. Ainsi, par cet arrangement, M. de La Bastie a réussi à éviter à la fois l'inflammation du bain de trempe, et la déformation du verre. Il restait à prévenir le choc du verre, lorsqu'il arrive au fond de la cuve ; ce résultat a été atteint en le faisant butter à la fin de sa course descensionnelle contre un bourrelet ou tampon en toile métallique ou autre matière flexible et amortissante.

Telles sont les données générales qui ont présidé à l'établissement du four, qui fonctionne dans l'usine de Richemont (département de l'Ain), et dont le modèle est placé sous les yeux des assistants.

Cet appareil destiné spécialement à la trempe des verres à vitres et des verres plats comprend deux compartiments principaux : l'un est le four de travail précédé d'une étuve pour l'échauffement préalable du verre, l'autre sert à loger la chaudière en cuve renfermant le bain de trempe. A l'intérieur, sont agencées les parties mobiles qui dirigent automatiquement la marche du verre, et qui sont elles-mêmes actionnées par l'ouvrier à l'aide d'un mécanisme de commande, disposé à l'extérieur.

M. Armengaud, vu l'heure avancée, est obligé de passer rapidement sur la description des différents organes mécaniques, et des détails de construction du four,

que la vue du modèle d'ailleurs fera mieux comprendre que toute explication. Il se borne à indiquer les phases saillantes de la marche du four, pour l'opération de la trempe.

Lorsque le four est parvenu au degré de chaleur voulue, l'ouvrier commence son travail, il ferme hermétiquement les portes avec de la terre glaise, entretient le feu avec des bûches, et interrompt le tirage de la cheminée en la couvrant d'un capuchon. La chaudière qui communique avec le four a été remplie du mélange préparé de matières grasses, elle est chauffée par les flammes d'un foyer spécial, circulant autour de ses parois, sans contact avec son contenu. L'ouvrier prend les feuilles de verre graduellement chauffées dans l'étuve contiguë au four, les introduit sur le sol fixe du four et les pousse sur la bascule en terre réfractaire parfaitement polie. C'est alors qu'un second ouvrier, dès qu'il s'aperçoit que le verre a acquis la chaleur nécessaire, fait pivoter la bascule et l'amène dans le prolongement de la table inclinée de la chaudière. Par l'effet de ce mouvement, le verre se met à glisser et pénètre sans secousse dans le bain en venant reposer sur le bourrelet élastique.

Le verre est laissé très-peu de temps dans le bain de trempe. L'ouvrier relève la table, et à l'aide d'un râteau engage la feuille de verre dans une gaine en métal, supportée par des barreaux au sommet de la chaudière. Quand cette gaine est pleine de feuilles de verre, on la retire, et on la remplace par une vide.

Comme on le voit, grâce à l'ingénieux outillage imaginé par M. de La Bastie, l'opération de la trempe est très-simple à conduire, et elle satisfait pleinement aux conditions ci-dessus mentionnées.

M. Armengaud ajoute que les verres façonnés dont a parlé M. Clémandot demandent à être chauffés graduellement dans une longue étuve, pour ne pas éclater dans le four. Or, M. de La Bastie, avant la construction de son usine qui s'achève présentement, disposait d'un espace trop restreint pour établir une étuve suffisamment longue. Mais les essais de toutes sortes qu'il a faits lui ont démontré qu'il est indifférent pour la trempe, que le verre soit en une ou plusieurs pièces, du moment que les conditions thermométriques sont les mêmes sur toute la surface.

Quant au cristal, il se trempe aussi bien que le verre, avec certaines modifications, dans la composition et dans la température du bain.

M. Regnard désirerait savoir si l'on peut tremper des verres de toutes les épaisseurs.

M. Armengaud. Il n'y a pas de limites ; le tout est de chauffer suffisamment pour les fortes épaisseurs, ce qui est une question de temps. La trempe a d'ailleurs pour utilité principale de diminuer l'épaisseur énorme de certains verres, tout en leur donnant une grande solidité ; il ne paraît donc pas admissible que l'on dépasse l'épaisseur de 0,015, la plus forte des verres trempés jusqu'ici.

M. Orsat demande quelles sont les modifications que la trempe apporte dans les propriétés physiques du verre.

M. Armengaud. D'abord la trempe, lorsqu'elle se pratique avec soin, n'a aucun effet sur la transparence du verre. C'est là un point capital. La trempe opérant le retrait des molécules augmente évidemment la densité du verre, et par suite modifie son pouvoir de réfraction. En ce qui concerne l'influence de la trempe sur la polarisation, elle a été le sujet d'expériences faites par l'Académie des sciences de Turin, dont le compte rendu n'a pas encore été publié.

Mais un des effets les plus remarquables de la trempe est d'augmenter considéra-

blement l'élasticité du verre. Une feuille arquée placée à terre, sur son côté concave, a plié sans se rompre, sous le poids d'un homme.

M. Brüll demande quelle est la solidité du verre trempé. Sa dureté ne l'empêche-t-elle pas d'être coupé au diamant?

M. Armengaud. En effet, le verre trempé ne se coupe pas au diamant, comme le verre ordinaire; mais il se polit et se taille à la meule ainsi qu'à la lime. On peut également le graver à l'acide. Quant à la solidité du verre trempé, à sa résistance à la rupture, elle a été évaluée à 50 fois environ celle du verre ordinaire. Lorsque le verre trempé se brise, ce qui n'a lieu que sous l'action d'un choc entièrement violent, il se divise en une infinité de petits morceaux. La percussion en un point produit non pas une ou plusieurs fentes rayonnantes, mais bien une surface craquelée, dont les éléments ont perdu une partie de leur transparence, et présentent une texture cristalline grenue peu cohérente. Cette cassure, non vitreuse et en quelque sorte conchoïdale, est certainement préférable à l'autre. Lorsque des couvertures vitrées se brisent par la chute de la grêle, si elles ne sont pas trempées, il tombe des morceaux de verre sur la tête des passants. Sont-elles trempées? il ne tombe plus qu'une poussière inoffensive.

M. le Président remercie MM. Clémandot et Armengaud de leur intéressante communication.

MM. Angevère, Auderut, Breton, Berthier, Crampton, Ducrot, Gautier, De la Harpe, Hersent, Pernolet, Simon et Vellut, ont été reçus membres sociétaires, et M. Brichaut, membre associé.

Séance du 16 Avril 1875.

Présidence de M. Lavalley.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 avril est adopté.

M. le Président apprend à la Société la pénible et émouvante nouvelle qui vient de se répandre dans Paris, de la mort des aéronautes Sivel et Crocé-Spinelli.

Ils s'étaient élevés hier, en compagnie de M. Gaston Tissandier, dans le but de poursuivre, dans les plus hautes régions de l'atmosphère, les recherches qu'ils avaient entreprises avec science et méthode sur l'aérostation, et en particulier sur la proportion d'acide carbonique contenu dans l'air à diverses hauteurs, sur les observations spectroscopiques et sur l'inhalation de l'oxygène pour combattre les effets de la moindre pression de l'air au delà de 6,000 mètres.

On se rappelle qu'il y a peu de jours ils avaient exécuté un voyage de 23 heures,

en se maintenant à une hauteur moyenne, à peu près constante, et que déjà, dans une précédente ascension faite quelques mois auparavant, ces jeunes et intrépides savants s'étaient élevés à 7,300 mètres. Ils voulaient hier renouveler cette expérience et atteindre l'altitude de 8,000 mètres, en emportant une provision de gaz oxygène.

Que s'est-il passé? Une dépêche de M. Gaston Tissandier indique qu'à cette hauteur il s'est trouvé, comme ses malheureux compagnons, dans un état d'anéantissement complet, et que s'étant réveillé il a vu Crocé-Spinelli (dans un moment d'aberration sans doute) jeter par dessus bord le lourd aspirateur qui devait leur permettre de recueillir l'air au plus haut point pour le dosage de l'acide carbonique. Puis il s'est évanoui de nouveau; le ballon délesté s'est relevé, et l'on peut supposer qu'il a remonté encore à de grandes hauteurs. Ce n'est que lorsqu'il fut redescendu à l'altitude de 6,000 mètres que M. Gaston Tissandier rouvrit les yeux : Sivel et Crocé-Spinelli étaient morts.

C'est une perte regrettable pour la science, que celle de ces explorateurs si pleins de dévouement, à qui on devait déjà des observations d'un grand intérêt. Ils s'étaient tracé, pour l'étude des diverses questions qui se rattachent à la navigation aérienne, un programme complet et méthodique; et l'on doit déplorer que ces études soient aussi tristement interrompues.

M. le Président annonce aussi le décès de M. Mazeline, ingénieur distingué et constructeur de machines marines.

M. le Président donne ensuite lecture de la lettre suivante, que M. Sella lui a adressée, à l'occasion de sa nomination comme membre honoraire de la Société :

« Rome, 6 mars 1875.

« Monsieur,

« J'ai reçu la lettre par laquelle vous m'annoncez ma nomination de Membre honoraire de la Société des Ingénieurs civils.

« Je vous prie, Monsieur, d'être l'interprète auprès de la Société de ma reconnaissance pour l'honneur qu'elle a bien voulu me faire, honneur que j'apprécie hautement, non-seulement par la valeur intrinsèque qu'elle reçoit du mérite des membres de la Société, et de la rareté de la distinction, mais par une raison personnelle. J'ai eu le bonheur de faire mes études d'application à une école française, à l'École des Mines de Paris. Quoique les destinées de ma vie m'aient, depuis quelques années, forcé à des occupations éloignées de la science de l'ingénieur, l'intérêt que j'ai pour cette science et pour mes confrères qui la professent n'est pas diminué. Et il m'est particulièrement cher d'être attaché par un nouveau lien à mes confrères de Paris. Veuillez donc leur exprimer tous mes sentiments.

« Daignez agréer, etc., etc. Sella. »

M. le Président informe la Société que M. Molinos lui a fait hommage de son livre intitulé : *La navigation intérieure de la France, son état actuel et son avenir*. — M. Richard veut bien se charger de rendre compte de cet ouvrage.

M. Vauthier donne communication des renseignements suivants sur la marche du percement du tunnel du Saint-Gothard, et l'état d'avancement au 28 février 1875.

Longueur totale du tunnel 14,900 mètres. — Altitude { tête nord 1,109, tête sud 1,145.

Le percement du tunnel du Saint-Gothard a été commencé vers la fin de 1872. En septembre de ladite année on commençait à attaquer la tête sud du côté d'Airolo, et le 24 octobre suivant la tête nord, côté de Gœschenen.

La marche des travaux, à partir de cette époque, est figurée graphiquement dans le dessin qui est mis sous les yeux de la Société. D'après les renseignements recueillis, les longueurs successivement percées de la galerie de direction ou d'avancement ont été les suivantes, aux dates indiquées :

DATES.	LONGUEUR PERCÉE.			LONGUEUR percée dans chaque période.	NOMBRE de jours.	AVANCEMENT moyen par jour.
	TÊTE NORD.	TÊTE SUD.	TOTALE.			
	m.	m.	m.			m.
1872. 31 décembre.	18.9	101.7	120.6			
1873. 31 mars....	87.2	165.1	252.3	131.7	90	1.4633
— 30 juin.....	208.2	219.3	427.5	175.2	91	1.9253
— 30 septembre.	376.0	415.9	791.9	364.4	92	3.9609
— 31 décembre.	600.2	596.0	1.196.2	404.3	92	4.3946
1874. 31 mars....	820.1	766.2	1.586.3	390.1	90	4.3344
— 22 septembre.	1.322.1	1.116.6	2.438.7	852.4	175	4.8708
1875. 31 janvier...	»	»	3.174.7	736.0	131	5.6183
— 28 février...	»	»	3.358.0	183.3	28	6.5464

Les chiffres des six premières lignes sont extraits des rapports trimestriels, publiés par le Conseil fédéral suisse, pour être transmis aux gouvernements co-intéressés; ceux des deux dernières lignes sont des renseignements officiels fournis à la Chambre des députés du royaume d'Italie, dans sa séance du 12 mars dernier. Les chiffres inscrits à la date du 22 septembre ont été recueillis sur place.

La dernière colonne du tableau ci-dessus, où sont reportés ces résultats, indique dans la vitesse de marche un accroissement continu et qui irait même en s'accélérant.

L'avancement moyen, par jour, dans la période comprenant l'année 1874 et les deux premiers mois de 1875, est de 5^{m},0986. Si l'on ne considère que la dernière partie de cette période, du 22 septembre 1874 au 21 février 1875, l'avancement moyen par jour atteint 5^{m},782.

La longueur totale du tunnel étant de 14,900 mètres, il restait à percer, au 28 février dernier, 11,542 mètres. Avec un avancement moyen de 5^{m},0986, correspondant aux quatorze derniers mois connus, l'achèvement du tunnel exigerait, à partir du 1er mars dernier, 6 ans et 75 jours; il serait terminé dans le courant de mai 1881. Mais, avec l'avancement de 5^{m},782, déduit des cinq derniers mois connus, l'achèvement n'exigerait que 5 ans et 171 jours, et le tunnel serait terminé vers la fin d'août 1880.

Les deux lignes pointillées supérieures du dessin indiquent l'avancement total qui correspondrait à l'une ou à l'autre de ces moyennes. Ce sont les tangentes hypothétiques d'une courbe dont la convexité est manifestement tournée vers le haut, et dont la montée s'accélérera suivant toute probabilité. Quant à la ligne pointillée inférieure, elle donne approximativement l'avancement des travaux du côté d'Airolo, suivant la moyenne des neuf mois, allant du 1er juillet 1873 au 31 mars 1874. Cette dernière ligne est donc moins nettement déterminée que les deux autres, qui sont les seules essentielles à considérer.

Du côté d'Airolo, tête sud, l'avancement, d'abord rapide à l'origine, est devenu moindre que du côté de Gœschenen. L'extrait suivant d'une lettre de M. Colladon, en date du 30 août 1874, explique cette lenteur relative, tout en montrant que les difficultés rencontrées, quelque considérables qu'elles soient, ont été surmontées :

« …….. L'avancement quotidien montre qu'en s'aidant des puissants moyens « d'aérage installés au Gothard, des nouvelles perforatrices et de la dynamite, on « peut percer en moyenne environ 2,000 mètres par année dans les gneiss et les « granits, malgré les incidents et les retards causés par les infiltrations abondantes « et la rencontre fortuite de veines de silex. Nous avons rencontré depuis dix mois, « à Airolo, toutes les difficultés les plus sérieuses : de larges failles d'où se répan- « daient avec violence de la boue et des graviers ; des infiltrations qui se sont « changées en jets, parfois aussi violents que ceux de puissantes pompes à incendie, « et dont le débit total s'est élevé pendant plusieurs mois à 200 litres et au delà par « seconde ; enfin des bancs de quartz compacts, où on usait de 17 à 20 fleurets par « trou profond d'un mètre. Malgré ces cas de force majeure, l'avancement a repris « sa marche progressive. »

Il n'est donc pas probable que les prévisions qui ressortent, pour l'avenir, des faits antérieurs se trouvent déjouées ; et il n'y aurait rien d'extraordinaire à ce que le percement fût complet avant la fin de 1879, d'autant mieux qu'on ne s'endort pas au Saint-Gothard sur les résultats obtenus. On travaille incessamment à perfectionner toutes les installations de chantiers, déjà parfaitement organisés. Les compresseurs à air fonctionnent dans les meilleures conditions. On augmente chaque jour la stabilité des affûts portant les machines perforatrices, ainsi que le nombre des fleurets travaillant à chaque front d'attaque. Enfin, en faisant gouverner automatiquement, par la machine elle-même, l'avancement alternatif des fleurets on a donné beaucoup plus de régularité au perçage des trous.

Les chantiers du Saint-Gothard présentent donc des installations modèles, où a été notablement perfectionnée, dans son application pratique, l'admirable invention de MM. Sommeiller et Grattoni, pour le percement des longs souterrains.

Les ingénieurs ne peuvent, au point de vue technique, que s'applaudir de tels résultats. Au point de vue des intérêts commerciaux de la France, il en est, pour nous, autrement. Le Saint-Gothard va exercer une attraction puissante sur le courant commercial qui se porte tant vers la Haute-Italie que vers l'extrémité de la Péninsule, et la France n'aura que des armes inégales pour lutter contre cette concurrence si elle ne crée pas, dans la même direction, un passage plus favorablement situé que ceux qu'elle possède.

C'est un point sur lequel j'ai déjà appelé l'attention de la Société. Je me borne à le mentionner ici de nouveau.

M. le Président indique qu'il est fait au Saint-Gothard une application intéressante des locomotives à air comprimé, et demande si quelque membre, présent à la séance, peut donner des renseignements sur ces appareils.

M. Bergeron sait qu'elles marchent à une vitesse de 3 à 4 kilomètres à l'heure et qu'elles fonctionnent sous une pression d'air de 5 à 6 atmosphères.

M. Armengaud jeune fils dit que chaque machine est accompagnée d'un réservoir contenant l'air à une haute pression, qui peut aller jusqu'à 15 atmosphères. Un régulateur de détente permet à l'air comprimé de n'arriver sous le piston qu'à la pression constante de 5 atmosphères.

M. Vauthier ne donne comme pression, dans le réservoir, que 10 à 12 atmo-

sphères. Les locomotives font tous les transports du chantier. Elles traînent derrière elles leur approvisionnement d'air comprimé dans d'immenses récipients.

M. Lavalley fait remarquer qu'il semble fâcheux qu'on n'utilise pas l'air à une plus haute pression dans la machine, car pour passer de 12 à 5 atmosphères, il faut perdre un travail considérable qui a été employé à comprimer l'air.

M. Armengaud dit qu'on paraît considérer comme très-importante la condition d'obtenir une pression constante sur le piston. C'est sans doute à cela que doit être attribuée la faible pression relativement utilisée. D'autre part, on doit avoir eu le désir de diminuer par une forte compression le volume du réservoir d'air.

M. le Président remercie M. Vauthier des détails qu'il vient de faire connaître à la Société.

La parole est donnée à M. Boistel pour sa communication sur les fours Siemens :

Après avoir fait observer que les divers systèmes, basés sur le chauffage au gaz et la régénération de la chaleur, ne sont, pour la plus grande partie, que des modifications plus ou moins heureuses des dispositifs de MM. William et Frédéric Siemens, M. Boistel discute d'abord, uniquement au point de vue du four Siemens, la communication faite par M. Périssé, en octobre 1874, sur les fours Ponsard.

Il se plaît à constater que le travail de M. Périssé est rédigé dans un esprit impartial, mais il ne le suivra pas dans les calculs auxquels il a dû se livrer pour dresser les intéressants tableaux de son mémoire, et qui doivent être le résultat d'observations longues et minutieuses.

Il parle du gazogène Siemens, à l'air libre, avec son plan incliné pour la descente du combustible, et sa grille à gradins, qui a été l'un des éléments importants de la réalisation pratique du chauffage au gaz. Il fait remarquer que, depuis sept ou huit ans, M. Siemens a employé, dans certains cas, la grille inférieure, qui existe toujours dans le gazogène ordinaire de M. Ponsard. Après avoir signalé que M. Siemens a employé une insufflation d'air au moyen d'un appareil à jet de vapeur, analogue à l'injecteur Giffard, il examine les gazogènes surchauffés de M. Ponsard, et il croit que leur marche doit être difficile, en raison surtout de l'impossibilité de conserver en bon état les matériaux réfractaires.

Quant à la composition des gaz, il ne voit pas qu'elle doive être différente dans les deux systèmes. Si les gaz Siemens sont moins riches en hydrocarbures à cause des dépôts dans les conduites, ils contiennent, d'autre part, moins d'acide carbonique, puisque leur température a été plusieurs fois constatée inférieure à 600°. Il développe les considérations qui ont conduit M. Siemens à chauffer aussi les gaz avant leur entrée dans le four; ce chauffage préalable est presque une nécessité pour que le système soit rationnel, et c'est ce qu'a compris M. Ponsard, en essayant de placer une chaudière à la suite du récupérateur, et surtout en entrant dans la voie du gazogène surchauffé, qui permet une plus grande utilisation des flammes perdues. Mais il prévoit de grandes difficultés, si l'édifice délicat des briques composant le récupérateur vient à se déranger, par suite de la dilatation ou de la contraction; les tirages se contrarieront, et finalement le gaz passera dans la cheminée au lieu de se rendre dans le four. Il y aura alors à craindre des explosions, plus peut-être que dans le four Siemens, où elles ne peuvent se produire que lors de la mise en marche, si on ne prend pas les précautions nécessaires.

Au sujet du récupérateur, M. Boistel dit que MM. Siemens ont essayé, depuis l'origine, une disposition suivant laquelle l'air est seul chauffé par échange de température à travers des cloisons réfractaires, mais, à la suite d'essais laborieux, ils ont été conduits à l'éloignement des gazogènes, et à l'inversion des courants qui ne présente aucune difficulté, et qui est au contraire un régulateur de la répartition de la chaleur dans toute la capacité du four. Il cite à l'appui les fours de glaceries, qui ont une longueur intérieure de plus de 11 mètres, et les fours tels que ceux d'Ebbw-Vale qui ont six mètres et demi et huit portes, et dans lesquels on réchauffe 72 tonnes de lingots Bessemer en vingt-quatre heures, avec une consommation de houille qui ne dépasse pas 175 kilogrammes par tonne d'acier.

Il croit savoir que la Compagnie parisienne du gaz a éprouvé des difficultés avec le four Ponsard, pour chauffer les dernières cornues, et qu'elle a dû modifier la disposition des arrivées du gaz.

Il fait l'historique des applications du four Siemens faites par cette Compagnie, qui ont conduit à une économie de 25 pour 100 en moyenne, et pour en terminer avec le renversement, il dit que les valves, qui sont en fonte, ne sont nullement exposées à se voiler, comme le dit M. Périssé.

Il n'est pas étonnant que le récupérateur Ponsard soit moins puissant que les régénérateurs Siemens; d'abord, outre qu'il est plus sujet à s'obstruer, il n'agit que par transmission de chaleur à travers des parois réfractaires, mauvaises conductrices.

Les régénérateurs Siemens, qui consistent en quatre chambres de maçonnerie remplies de briques en chicane, sont de construction facile, tandis que celle du récupérateur Ponsard exige des soins tout particuliers.

M. Boistel n'admet pas que le prix d'établissement du four Ponsard soit, à puissance égale, deux fois moindre que celui des fours Siemens correspondants. Le récupérateur Ponsard est plus petit, moins efficace, et laisse sortir les produits de la combustion à 600°, parce que la quantité d'air à chauffer est insuffisante pour absorber, sans nuire au tirage, toute la quantité de chaleur produite.

M. Boistel entre dans des développements pour démontrer que le système Siemens doit donner une plus grande économie; il prouve que le refroidissement des gaz n'est pas une cause de perte de chaleur, mais produit au contraire des effets importants, nécessaires; il cite des chiffres posés par M. Krans, qui tendent à infirmer les résultats trouvés par M. Périssé, et il conclut, en disant qu'il ne croit pas qu'aucun autre mode de chauffage que celui de MM. Siemens permette de fabriquer journellement, par exemple, une aussi grande quantité d'acier avec une économie égale de combustible et de déchets, et dans de meilleures conditions de service et d'entretien.

M. Boistel, abordant un autre sujet, entretient la Société des recherches métallurgiques de M. Siemens, et des résultats auxquels elles l'ont amené.

Dans l'industrie verrière, et dans la glacerie, ces résultats sont considérables; il n'est plus aujourd'hui un seul four destiné à la fabrication des glaces, tant en France qu'en Belgique et en Angleterre, qui ne soit chauffé par les procédés Siemens : leur application s'est beaucoup moins répandue dans la fabrication du verre à vitres et des bouteilles. Cependant le nouveau mode de fusion et de fabrication du verre, sur la sole d'un four, et d'une façon continue, donne sur les anciens procédés une économie de 50 à 70 pour 100.

L'étude du puddlage de la fonte a amené M. Siemens à dire que le départ du sili-

cium et du carbone de la fonte, dans le puddlage ordinaire, est entièrement dû à l'action des oxydes de fer fluides contenus dans le bain, et que ce bain s'augmente d'une quantité équivalente de fer métallique, réduit de ces oxydes. Il prouva aussi que l'on peut puddler sur une sole en silice, ce qui n'avait jamais été constaté avant ses expériences.

L'emploi de l'hématite pour le garnissage des soles a pour effet d'obtenir une quantité de fer, supérieure au poids de la fonte, si l'on a soin de fournir au bain une proportion d'oxyde suffisante, et M. Boistel détermine la quantité de fer que peut ainsi donner le laitier. Il y a, sous ce rapport, dans les fours à puddler ordinaires, un écart considérable entre la quantité théorique et celle produite réellement. Cela tient à la facilité d'absorption du soufre et de l'oxygène par le fer à l'état d'éponge; l'emploi des fours Siemens réduit de beaucoup cet écart.

Comme exemple, le mémoire cite quelques résultats obtenus à Bolton, dans le Lancashire, et aux forges de Basse-Indre, près Nantes.

L'application au puddlage s'est cependant peu répandue en France : il y a eu un échec chez MM. de Vendel, à Styring; mais cela a tenu à la qualité de la fonte, ainsi qu'à l'emploi du puddlage mécanique Lemut, qui ne réussit bien que sur les fours ordinaires. L'inconvénient des projections de métal et de sarrazins dans les régénérateurs n'est plus à craindre aujourd'hui, avec la nouvelle disposition, mais la question des chaudières placées sur les fours arrête beaucoup d'industriels. Cependant, ils auraient un grand intérêt à avoir des chaudières indépendantes, s'ils considéraient que, somme toute, ils obtiendraient une économie journalière de 65 francs par four.

En ce qui concerne les fours à réchauffer le fer, les avantages obtenus ne sont pas moindres que ceux déjà cités pour le réchauffage de l'acier, et là encore les industriels sont hésitants à cause des chaudières à la suite. Cependant les fours Siemens donnent une économie de 3 à 5 pour 100 sur les déchets, et au moins 50 pour 100 sur le combustible.

M. Boistel arrive à la grande application du four Siemens, à la fabrication de l'acier sur sole, indiquée par Réaumur et d'autres, mais qui n'avait pas pu être encore réalisée industriellement, faute de pouvoir obtenir en pratique des températures suffisantes.

Des études de MM. Siemens en Angleterre, et de M. Martin en France, résulta le procédé connu sous le nom de Martin-Siemens, qui fonctionne depuis plus de six ans avec succès. Il y a en France une cinquantaine de fours établis, autant en Angleterre, et dans certaines usines, notamment dans celle de Terre-Noire, la production s'élève jusqu'à 18 à 20 tonnes d'acier par four, en 24 heures.

M. Siemens a cherché à remplacer par le minerai lui-même les riblons de fer ou d'acier en usage dans ce procédé pour l'affinage de la fonte. Il y est arrivé, et son procédé commence à se répandre dans les grandes aciéries anglaises et allemandes. — M. Boistel décrit l'opération qui s'effectue dans un four analogue à celui dont on fait usage pour le procédé Martin-Siemens, mais aussi puissant que possible. On charge cinq tonnes de fonte qui n'a pas besoin d'être aussi pure que pour l'opération Bessemer. On charge ensuite le minerai par 100 kilos à la fois jusqu'à une tonne environ que l'on introduit suivant les cas à l'état cru ou mieux fondu préalablement. On doit d'ailleurs prendre des échantillons avant chaque addition. Lorsque la teneur en carbone est descendue à 0,001, on ajoute de 400 à 500 kil. de spiegeleisen à 10 p. 100 de manganèse; on râble énergiquement le bain et on procède à la coulée.

L'opération dure 10 heures ou 8 heures suivant qu'on charge la fonte froide ou qu'on la prend directement au fourneau. Le produit doit être d'environ 2 p. 100 supérieur au poids de fonte employée, et il revient moins cher tout en étant de meilleure qualité que l'acier Bessemer ou que l'acier obtenu avec les riblons. M. Boistel cite à l'appui de ces assertions des chiffres de fabrication obtenus dans quelques-unes des usines qui emploient actuellement ce procédé, et il en déduit le prix de revient qui serait, par tonne de lingots, de 3 francs moins élevé que celui de l'affinage par les riblons. Puis il termine sa communication par quelques mots sur le procédé de traitement direct des minerais de fer que M. Siemens travaille depuis plusieurs années déjà et qui paraît être à la veille de trouver sa réalisation pratique. L'opération s'effectue dans un four rotatif recevant d'un côté les gaz et l'air des régénérateurs qui s'échappent par le même côté, et où l'on introduit par l'autre bout le minerai et les agents réducteurs. Le résultat se traduit par des blooms qui ne peuvent pas encore être étirés directement, mais qui sont très-convenables pour être dissous dans le bain de fonte initial du procédé Martin-Siemens, où ils produisent de l'acier de qualité supérieure. M. Boistel donne quelques indications sur le prix de revient des balles puddlées obtenues par ce procédé, et il espère qu'il pourra tomber jusqu'à 100 fr. la tonne. Enfin il annonce pouvoir, dans une prochaine séance, entretenir la Société des appareils céramiques Siemens-Cowper à chauffer le vent, dont l'application permet de réaliser des économies de coke qui s'élèvent jusqu'à 500 kilos par tonne de fonte Bessemer et d'augmenter la production des fourneaux de 50 à 65 p. 100.

M. Périssé. Après l'intéressante communication que nous venons d'entendre, et qui contient des chiffres et des renseignements très-détaillés, il m'est difficile de répondre de suite à toutes les objections que notre collègue nous a présentées sur le système Ponsard, il faudrait pour cela avoir sous les yeux la série des questions posées.

Cependant, comme l'ordre du jour va appeler la discussion sur la note que j'ai présentée au mois d'octobre, je trouverai sans doute l'occasion de répondre à quelques critiques faites par M. Boistel.

M. le Président croit qu'en raison de l'importance et de la nature même des communications faites par MM. Périssé et Boistel, il est intéressant pour la Société que la discussion ait lieu en même temps, et il donne à cet effet la parole à M. Périssé.

M. Périssé. La principale critique faite au récupérateur Ponsard, c'est qu'il constitue un appareil délicat, dans lequel les dislocations ont pour effet d'amener des communications entre les conduits de fumées et d'air.

Les résultats d'une longue pratique ont permis de constater que le récupérateur ne se déforme pas, que l'étanchéité des joints des briques se maintient malgré leur grand nombre, et sans doute même en raison de leur grand nombre, et cela, à la suite de nombreux arrêts et rallumages.

C'est par les analyses des fumées que j'ai pu m'assurer de cette étanchéité, en la faisant presque simultanément, au-dessus, au milieu et au bas du récupérateur. Les gaz sont de même nature, et la quantité d'oxygène contenu est pour ainsi dire la même.

Toutes les fois que l'analyse a indiqué des différences notables, cela tenait à ce que les trous de nettoyage des carneaux de fumée étaient mal lutés ou bien à ce que, par suite d'un long service, le récupérateur était usé vers sa partie supé-

rieure. Cette investigation par l'analyse est celle qui est employée pour reconnaître l'époque à laquelle il convient de réparer l'appareil.

Dans ma note, j'ai reproduit de nombreuses analyses qui montrent que les fumées renferment de 15 à 18 p. 100 d'acide carbonique, j'ai donné aussi des résultats au sujet de la durée des récupérateurs ; j'ajouterai que ce qu'il y a de plus remarquable, et cela résulte de l'examen de plus de vingt-cinq appareils, c'est que les briques creuses se détériorent moins vite que les briques pleines, parce qu'elles sont relativement mieux refroidies ; les unes, celles des carneaux de fumées, par le passage de l'air à l'intérieur, et les autres, celles des carneaux d'air, par la circulation qui a lieu autour de chaque chicane.

En réfléchissant à la façon dont les briques sont disposées, on s'explique que les mouvements dus à la dilatation et à la contraction s'exercent d'une façon indépendante et individuellement sur chaque brique, c'est-à-dire seulement sur des longueurs de 0m,24 à 0m,30.

Le joint est de nature à recevoir cette amplitude de mouvement. De plus, si on considère que les briques juxtaposées sont rendues jointives par une espèce de clavette en mortier très-silioeux, mortier qui gonfle à la chaleur, on conçoit que, dans ce sens-là aussi, il ne peut y avoir ni déformation ni fuite.

La visite des récupérateurs hors de service par suite d'un long usage montre que les joints sont parfaitement intacts.

M. Boistel a parlé d'explosion possible dans les gazogènes surchauffés s'il y avait communication.

Je n'ai pas bien compris ce qui a été dit à ce sujet, mais je ferai remarquer qu'il n'y a pas de communication d'après ce que je viens de dire, mais qu'en admettant même qu'il existât des fissures dans le récupérateur, il n'y aurait jamais en présence que des gaz brûlés et de l'air, c'est-à-dire qu'un mélange détonnant est impossible. Il n'y aura donc pas explosion.

M. Boistel explique que c'est dans le cas seulement du gazogène surchauffé, qu'il a dit que l'aspiration pourrait se faire en sens inverse du gazogène vers le récupérateur et amener quelques gaz combustibles dans le récupérateur.

M. Périssé répond que ce cas n'est pas possible, parce que les gaz combustibles devraient rétrograder en traversant en sens inverse la couche de combustible, tandis qu'ils n'auront qu'à obéir à l'aspiration de la cheminée en suivant leur chemin naturel par le laboratoire du four.

En ce qui concerne les valves de renversement dans les fours Siemens, M. Périssé a, en effet, dit dans sa note qu'elles étaient exposées à se voiler ; sans doute il a été mal renseigné à ce sujet, puisqu'il résulte des explications données par M. Boistel qu'il n'en est pas ainsi.

M. Périssé. En second lieu, M. Boistel ne s'explique pas comment le four Ponsard permet le chauffage de l'air à haute température, puisqu'il se fait par *conductibilité* à travers des matériaux réfractaires qui sont, dit-il, mauvais conducteurs de la chaleur.

Sur ce point, je répondrai que les faits tendent à prouver que le coefficient de conductibilité de la brique réfractaire augmente avec la température.

De nombreuses expériences calorimétriques m'ont mis à même de constater que l'air, en traversant un récupérateur, y avait pris des températures comprises entre 1000 et 1400°.

Ces expériences ont été renouvelées à plusieurs reprises sur un four qui vient de

faire, sans arrêt, 180 fusions d'acier. Les températures ont été déterminées au moyen d'un pyromètre à eau, avec des éprouvettes en cuivre et en platine; l'emploi des deux métaux n'a jamais donné plus de 25 degrés de différence.

Sur d'autres appareils, des expériences semblables ont donné, à très-peu de chose près, les mêmes résultats, et je suis amené à tirer cette conclusion que le coefficient de conductibilité déterminé déjà par les physiciens, à des températures relativement basses, n'est pas applicable, quand il s'agit de températures très-élevées, comme celles des flammes sortant des fours métallurgiques. La conductibilité doit être plus grande à cette haute température, et si l'on considère que les briques du récupérateur sont fabriquées avec soin, il est probable que cette condition favorise encore le pouvoir conducteur.

Il ne m'est pas possible aujourd'hui d'apporter aucun chiffre, mais je continue des expériences et des observations qui pourront, je l'espère, m'amener dans la suite à une détermination, sinon exacte au point de vue scientifique, au moins très-approchée, et qui pourrait avoir quelque valeur pratique.

En effet, étant donnés, pour un grand nombre d'appareils, les températures des gaz brûlés en haut et en bas du récupérateur, les températures d'entrée et de sortie de l'air, la nature et l'étendue des surfaces de chauffage, les poids des gaz déterminés par les consommations et les analyses; étant donnés tous ces chiffres, et une formule qui donne une relation en fonction d'une seule inconnue, qui serait le coefficient de conductibilité, il sera évidemment possible de le déterminer, dans les conditions pratiques que je viens d'indiquer.

M. Périssé. En troisième lieu, M. Boistel, tout en reconnaissant l'impartialité qui avait présidé à mon étude comparative entre le four Siemens et le four Ponsard, croit que mes calculs sont erronés, lorsque j'arrive à démontrer, par des considérations théoriques, que ce dernier four doit donner des économies plus grandes encore que le four Siemens. Je regrette que M. Boistel n'ait pas indiqué en quoi mes calculs sont erronés, et qu'il se soit borné à citer des résultats industriels. Mais puisque M. Boistel a donné des chiffres, concernant le puddlage, la fusion de l'acier, le réchauffage du fer et de l'acier, espérant y trouver des conclusions contraires à celles que mes calculs avaient démontrées, je vais également répondre par des chiffres.

En ce qui concerne le puddlage et la fusion de l'acier, les résultats donnés par le four Ponsard ne sont pas consacrés encore par une pratique suffisamment longue pour que je veuille en parler. Mais il n'en est pas de même pour les autres applications.

M. Boistel nous a cité la faible consommation (175 kilogrammes de houille par tonne) des grands fours Siemens à réchauffer les lingots d'acier pour rails. Notre ancien président, M. Jordan, dans son discours de sortie, nous avait déjà signalé ce résultat fort remarquable.

Eh bien! voici les consommations d'un four Ponsard, pour le même travail, à l'usine de Seraing (Belgique).

Dépense de combustible par tonne de lingots : 160 à 170 kilogr. composés de 80 à 85 pour 100 de houille, et 15 à 20 pour 100 d'escarbilles, ce qui revient à 136 kil. de houille par tonne, et 29 kil. escarbilles par tonne.

L'usine précitée construit en ce moment trois grands fours à dix portes, avec lesquels on espère arriver à des consommations encore moindres.

Pour le réchauffage du fer, je puis encore citer des chiffres de production et de consommation industriels, autres que ceux déjà consignés dans ma note.

A l'usine de Pont-Évêque, chez MM. Harel et Cie, la production d'un four en vingt-quatre heures est de 14 à 20 tonnes de fer laminé, avec une consommation de 200 à 225 kilogrammes de houille par tonne laminée, alors que, pour la même fabrication, les fours ordinaires brûlent de 500 à 600 kilogrammes. L'économie, abstraction faite de la question de vaporisation, dépasse donc 60 pour 100, chiffre supérieur aux 50 pour 100 accusés par M. Boistel comme minimum.

Ce double exemple vient donc à l'appui des conclusions théoriques de mon Mémoire.

J'ai eu occasion de dire, dans ma note, que la marche continue était une condition presque indispensable pour les fours à gaz. Évidemment c'est celle qui donne les plus grandes économies. Cependant, le four Ponsard s'est prêté tout récemment à la marche intermittente que voici : Le four ne travaille que quatre à cinq jours pleins par semaine; tous les samedis, la grille est jetée bas comme dans les fours ordinaires, on la rallume le lundi à midi, pour avoir le four en température dix-huit heures après. On conçoit qu'avec une pareille marche, une grande quantité de combustible est perdue pour chaque rallumage, et cependant voici, pour le mois de février, les chiffres de production et de consommation pour un four au moyen mill.

Fer brut chargé..	369,547
Fer laminé (non affranchi).	342,373
Charbon brûlé..	89,202

Il en résulte une consommation de 260 kilogrammes par tonne laminée (allumages compris), et une mise au mille de 1078 kil. paquets fer brut.

Ces chiffres se passent de commentaires.

M. Boistel fait remarquer que les chiffres qu'il a cités sont des chiffres généraux, industriels, et qu'ils sont inférieurs aux résultats obtenus dans quelques cas spéciaux. Que d'ailleurs, pour pouvoir comparer des chiffres de consommation au réchauffage du fer, il faut tenir compte de l'application que l'on considère, et de la nature du réchauffage qui n'est pas le même, on le conçoit, lorsqu'il s'agit d'opérer sur des paquets pour rails ou sur des lingots ou billettes; pour des fours Siemens pour rails en fer, la consommation est descendue jusqu'à 185 kilogrammes.

M. Périssé répond que les derniers chiffres qu'il vient de donner sont relatifs à la fabrication du fer laminé au moyen mill et au petit mill, et avec des paquets à souder.

Or, dans les fours ordinaires, et pour le travail en petits échantillons, la consommation de houille est environ une fois et demie celle qu'exige le chauffage des paquets pour rails.

M. Périssé. J'arrive à la question de l'économie de déchets et je ne puis qu'approuver ce que M. Boistel nous a dit au sujet de l'intérêt qu'auraient les maîtres de forges à rendre leur production de vapeur indépendante des fours, parce que non-seulement ils profiteraient d'une économie de combustible, mais aussi et surtout ils réaliseraient sur les moindres déchets et pour chaque four un bénéfice de 60 à 100 francs par jour.

Il me serait difficile de comparer exactement les résultats des fours Siemens et Ponsard, au point de vue des économies de déchets; il faudrait pour cela des conditions identiques de travail.

Cependant je suis convaincu que le four Ponsard a là encore la supériorité; je l'attribue à la nature différente de la flamme, puisque, d'après le dire même de

M. Boistel, les gaz combustibles qui arrivent dans le laboratoire Ponsard sont plus hydrocarburés, puisqu'ils contiennent les goudrons qui se déposent dans les conduites Siemens.

M. Périssé cite pour exemple d'économie de déchet l'application des fours Ponsard à la fusion du spiegeleisen où il est très-important, au point de vue métallurgique, de conserver la proportion de manganèse. Or, dans les fours à réverbère ordinaires, il n'est pas rare de perdre de 3 à 5 unités sur 11 de manganèse contenu ; dans les cubilots cette perte est au moins de 2 1/2 à 3 unités.

L'emploi du four Ponsard pour cette opération spéciale, joint à des perfectionnements d'une autre nature, a permis de réduire considérablement la perte de manganèse qui n'a jamais dépassé une demi-unité, et en moyenne on la considère comme nulle.

Cette application est d'autant plus remarquable, que l'usine qui l'a faite la première est précisément celle qui, en France, fait usage de fours Siemens sur la plus grande échelle.

M. le Président fait remarquer que le travail de M. Boistel se composait de deux parties : la première présentait la comparaison des fours Siemens et Ponsard, la seconde était relative à de nouveaux procédés pour l'obtention de l'acier et pour l'extraction directe du fer de certains minerais. Il invite les membres qui auraient quelques observations à faire sur cette partie à les présenter.

M. Gillot demande que la discussion n'ait lieu qu'après l'impression de la communication qui vient d'être lue par M. Boistel, pour qu'elle puisse être profitable, vu le grand nombre de faits et de chiffres contenus dans ce Mémoire. Il rappelle que le procédé de fabrication de l'acier sur sole date de plus de 80 ans, et a été décrit par Hassenfratz, et que, quant à l'emploi du four à gaz en métallurgie, il y a 40 ans qu'il a été essayé.

M. le Président observe qu'il n'y a pas lieu de rechercher ici la priorité de l'invention ou de l'application des procédés décrits, et personne ne demandant plus la parole, il clôt la discussion, et remercie M. Boistel de son intéressante communication.

Il est ensuite procédé au vote sur l'admission de MM. Aylmer, Dallemagne, Donon, Dupuis, Gondolo, Lantin, Legard, Levêque, Ménager, Payard, Remaury, Rolin, Rouget et Roze, comme Membres sociétaires; et de MM. Desouches et Nicaise, comme Membres associés. Ces Messieurs sont admis à l'unanimité.

Séance du 7 Mai 1875.

Présidence de M. Lavalley.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 avril est adopté.

M. le Président annonce le décès de MM. Calrow, Deseilligny, Lacombe et Thévenet.

M. le Président donne lecture de la lettre suivante, qui lui a été adressée par M. Delesse, ingénieur en chef des mines, président de la Commission de contrôle de la Société de géographie :

« Monsieur le Président,

« Je viens vous prier de vouloir bien rappeler à la Société des ingénieurs civils, qu'une *Exposition internationale de Géographie* doit s'ouvrir à Paris, le 15 juillet prochain, et qu'elle sera suivie d'un *Congrès géographique*.

« Cette Exposition est analogue à celle qui a été faite à Anvers, il y a quelques années, et M. le maréchal président de la république a bien voulu permettre de l'installer dans le Pavillon de Flore, aux Tuileries. Les ministres des affaires étrangères, de la guerre, de la marine et des travaux publics et de l'agriculture lui donnent leur concours, soit par des souscriptions, soit par l'envoi de travaux géographiques.

« Parmi les travaux des ingénieurs, il en est un grand nombre qui ont naturellement leur place marquée à l'Exposition de géographie; il est donc utile de leur signaler ce moyen de les faire connaître. Il convient d'ailleurs d'ajouter que la place sera livrée gratuitement aux exposants; ils doivent seulement adresser à M. le baron Reille, commissaire général, 10, boulevard de la Tour-Maubourg, une demande précisant la nature des travaux qu'ils ont l'intention d'exposer, et la surface horizontale ou verticale qui leur sera nécessaire.

« Dès à présent, M. le vice-amiral La Roncière, président de la Société de géographie, a reçu l'avis que de nombreux travaux géographiques seront envoyés de l'étranger; dans la lutte scientifique qui se prépare, il importe donc que la France soit dignement représentée, et qu'elle puisse compter sur le concours des membres de la Société des ingénieurs civils.

« Veuillez agréer, Monsieur le Président, etc., etc. »

M. Garnier désire ajouter quelques mots à la lettre que M. Delesse, empêché d'assister à la séance, a adressée à la Société.

Il rappelle qu'en 1871 la ville d'Anvers avait organisé un Congrès des sciences géographiques, dont le succès a donné à la Société française l'idée de faire l'Exposition dont il s'agit.

Cette Exposition comprendra deux parties, l'une purement scientifique, l'autre constituant ce qu'on peut appeler la géographie commerciale; cette dernière présente un grand intérêt pour les ingénieurs.

M. Garnier donne lecture du programme des objets qui pourront figurer à l'Exposition de géographie commerciale.

PROGRAMME

DES OBJETS QUI POURRONT FIGURER A L'EXPOSITION DE GÉOGRAPHIE COMMERCIALE

I

INSTRUMENTS DE L'ÉCHANGE ET DES RELATIONS COMMERCIALES.

1. — Mesures itinéraires, linéaires, de surface, de capacité et de poids des différents peuples.

2. — Monnaies et papier-monnaie ayant cours actuel.

3. — Timbres d'affranchissements divers.

4. — Types de livres de chèques et de titres fiduciaires.

5. — Spécimens des essais et des propositions ayant pour objet le perfectionnement ou l'universalisation des articles précédents. — Documents sur les métaux monétisables, sur leur degré d'abondance et leurs sites géographiques.

II

VOIES DE COMMUNICATION ET DE TRANSPORTS.

6. — Indications de toutes sortes sur les voies créées, en cours d'exécution et en projet, soit terrestres soit maritimes. Cartes, plans, tracés relatifs aux projets de routes, de chemins de fer, de percements d'isthmes, de ponts, de tunnels, d'endiguement et de canalisation des cours d'eau, de lignes télégraphiques, de câbles sous-marins, à l'ouverture de nouveaux ports commerciaux.

7. — Engins divers servant à l'établissement des routes, au percement des roches, au draguage, à l'épuisement, à l'extraction, etc.

8. — Moteurs et véhicules spéciaux; aérostats; modèles de bateaux-transports et chargeurs. — Appareils de chargement, arrimage, déchargement et transbordement; grues, treuils, poulies, etc.

9. — Systèmes d'emballage les plus propres à faire traverser de grandes distances aux différentes marchandises.

10. — Statistique des voies commerciales, leur utilisation, leurs parcours, leurs tarifs, le service qu'elles accomplissent, etc. — Méthodes, tableaux, livres nouveaux pour indiquer les tarifs, organisation et durée des transports. — Agences maritimes et commerciales, maisons de commission, etc.

11. — Documents statistiques sur l'échange et le mouvement des marchandises, leur valeur et leur nature.

III

EXPLOITATIONS COMMERCIALES.

12. — Articles de vêtement, d'équipement, de campement et d'armement propres aux explorateurs; cantines, trousses et nécessaires de voyage.

13. — Instruments pratiques et facilement transportables de météorologie, de mathématique et d'optique; appareils photographiques de voyage, chambres claires, boîtes à dessin, nécessaires de minéralogie, de botanique et d'entomologie.

14. — Objets spécialement destinés dans les explorations à faciliter la marche et les transports : embarcations pouvant se démonter et se transporter par terre, appareils de natation et de sauvetage, scaphandres. — Instruments pour la recherche des marchandises submergées.

15. — Préparations alimentaires, conserves, etc., utiles dans un voyage d'exploration.

16. — Manuels, guides pratiques et traités d'hygiène pour les explorateurs. — Appareils et préparations contre les animaux nuisibles.

17. — Pacotilles, échantillons d'un transport facile destinés, soit à faire des cadeaux aux indigènes des pays à explorer, soit à nouer des relations commerciales avec les peuples peu civilisés.

18. — Collections de vues, de types, de costumes, dessinés ou photographiés, rapportées par les explorateurs, et ayant trait aux pays peu connus; relations d'explorations commerciales.

IV

EXPLOITATIONS NATURELLES.

19. — Collections de matières minérales utiles et utilisables.

20. — Collections de matières végétales propres à l'alimentation ou à l'industrie : bois précieux, plantes médicinales, tinctoriales, textiles; céréales, fruits, vins et alcools, boissons fermentées diverses, épices, thés, cafés, caoutchouc, résines, parfums, gommes, condiments, arbustes et fleurs.

21. — Produits naturels du règne animal, destinés à être travaillés ailleurs qu'au pays d'origine : peaux, fourrures, laines, plumes, soies, cocons et graines de vers à soie; cornes, ivoires, os, fanons, écaille, nacre, perles, corail, ambre, sépia, éponges, etc.

22. — Élevage du bétail spécialement en vue de l'exportation : viandes salées, fumées, etc. — Conservation et exportation des produits comestibles de la pêche. — Modèles d'établissements pour leur préparation.

23. — Coupes, plans, méthodes d'exploitation et appareils divers, relatifs à l'extraction des matières minérales.

24. — Instruments perfectionnés pour l'exploitation agricole et forestière, la sériciculture, l'apiculture.

25. — Armes, piéges et engins pour la chasse et pour la pêche; matériel de la culture des eaux; réservoirs, parcs, aquariums, etc.

26. — Diagrammes, cartes et ouvrages relatifs à la statistique agricole, propagation et acclimatation des espèces animales et végétales utiles au commerce, défrichement, pacage et culture, reboisement et gazonnement des montagnes, à l'ex-

ploitation minière, à la recherche des sources minérales et au commerce des matières premières.

V

EXPLOITATIONS INDUSTRIELLES.

27. — Modèles et plans d'usines, forges, hauts-fourneaux, filatures, sucreries, etc. — Machines diverses pour la transformation des matières premières.

28. — Produits manufacturés intéressants de tous pays, et particulièrement ceux qui ont un écoulement important, dans les contrées éloignées du lieu de fabrication.

29. — Types et reproduction des procédés industriels de l'Orient et en particulier de l'Extrême-Orient, utilisés par les fabricants occidentaux.

30. — Rapports consulaires, statistiques, publiés par les États, les Villes, les Chambres de commerce, les Compagnies, etc., relatifs à la production manufacturière et au commerce d'importation et d'exportation des produits ouvrés.

VI

ÉMIGRATION, COLONISATION, POPULATION.

31. — Livres, documents statistiques, publiés par les divers États ou les Compagnies particulières, dans le but d'engager les peuples étrangers à émigrer et à aller s'établir dans ces États. — Cartes, plans des colonies agricoles; agences et services de transports fondés pour faciliter l'émigration.

32. — Modèles d'habitation, vêtements, outils, instruments aratoires, matériel de chasse et de pêche pour les émigrants; livres de connaissances pratiques qui peuvent leur être utiles.

33. — Ouvrages et objets relatifs aux connaissances spéciales que doit acquérir celui qui veut établir une maison de commerce à l'étranger, et aux ressources que les divers pays peuvent lui offrir.

34. — Statistiques, méthodes, statuts relatifs à la création et au développement des écoles destinées à former, dans les différents pays, des jeunes gens pour le commerce à l'extérieur.

35. — Publications destinées à répandre la civilisation et à adoucir les mœurs des indigènes au milieu desquels on peut fonder des établissements agricoles et industriels.

36. — Plans et autres documents relatifs à la naissance, à la distribution sur le sol, à l'accroissement et au déclin des villes, ainsi qu'à la densité de la population rurale.

Extrait du règlement particulier de l'Exposition de Géographie Commerciale.

ARTICLE PREMIER.

L'Exposition de Géographie Commerciale, organisée par les soins et sous la direction des Commissaires, délégués à cet effet par la *Commission de Géographie*

Commerciale, ouvrira le 15 juillet, et durera au moins jusqu'à la fin du mois d'août. Elle aura lieu au *Jardin des Tuileries*, *dans le bâtiment dit de l'Orangerie*, et sur la *Terrasse du bord de l'eau.*

ART. 6.

Il sera remis à chacune des personnes qui désireront prendre part à l'Exposition un bulletin imprimé, où elle indiquera ses nom, prénoms, profession et adresse, la nature de ses produits, en même temps que le nombre de mètres dont il a été question à l'article 3.

ART. 7.

Ces bulletins devront être signés et envoyés francs de port à l'agent de l'Exposition, M. E. Beaufort, rue de Provence, nº 64, au plus tard le 20 juin.

ART. 8.

Tous les produits devront être rendus aux Tuileries le 1er juillet au plus tard. Passé ce délai, les droits de place payés antérieurement demeureront acquis à l'Exposition, et les Commissaires pourront disposer des emplacements inoccupés.

ART. 9.

Sont exemptés du payement de l'emplacement à l'Exposition :

1° Les objets prêtés par les Gouvernements, Ministères, Sociétés scientifiques, Musées de tous les pays;

2° Les envois faits au nom des Chambres de commerce françaises et étrangères, et par les Agents diplomatiques et consulaires;

3° Les échantillons ayant le caractère spécial et unique de document scientifique et ne portant, par conséquent, pas de prix de vente.

Les Commissaires spéciaux seront juges de l'application de ces cas d'exemption.

ART. 10.

Les envois doivent parvenir francs de port à l'Exposition, où ils seront reçus à partir du 1er juin, et les exposants doivent pourvoir, soit par eux-mêmes, soit par leurs délégués, à l'expédition et à la réception des colis, ainsi qu'à la reconnaissance de leur contenu.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Garnier des explications qu'il vient de donner, L'Exposition organisée par la Société de géographie présente en effet un grand intérêt pour la Société, ses membres pouvant fournir des objets ou des documents se rapportant à presque toutes les branches du programme dont il vient d'être donné connaissance.

M. RICHARD désire communiquer à la Société des renseignements tout récents sur l'état actuel des travaux du Saint-Gothard. Il donne lecture d'une lettre qu'il vient de recevoir de M. Ribourt.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Mallet qui, arrivant d'un voyage en Suisse, désire entretenir la Société d'essais auxquels il vient d'assister, sur des chemins de fer à rampes exceptionnelles.

M. Mallet rappelle qu'à deux reprises il a eu l'occasion de traiter, devant la Société, la question des chemins de fer de montagnes.

Le succès extraordinaire du chemin de fer du Rigi a, dès le commencement, fait penser à multiplier en Suisse les chemins de fer dits de touristes, *touristen bahnen*.

Beaucoup de ces chemins ont été étudiés, mais il n'en a été exécuté qu'un très-petit nombre, principalement pour des raisons financières.

Le chemin de l'Uetliberg, dont il va d'abord être question, est un de ces derniers. La montagne dite *Uetliberg*, qui domine la ville et le lac de Zurich, a une hauteur de 400 mètres environ au-dessus du lac; la vue dont on jouit à son sommet et les hôtels qu'on y trouve y attirent beaucoup de promeneurs; on étudia donc, dès 1872, un chemin de fer pour en faire l'ascension. Il avait d'abord été question de faire ce chemin sur le modèle du Rigi, mais l'emploi de la crémaillère fut écarté pour des raisons qu'il est sans intérêt de rapporter ici.

M. le major Huber, président de la compagnie, et M. l'ingénieur en chef Tobler, vinrent en France étudier sur place les chemins de Tavaux-Pontséricourt et d'Enghien à Montmorency, et à la suite de cet examen résolurent d'aborder par la simple adhérence des rampes qui devaient s'élever à un maximum de 70 millimètres par mètre.

C'était surtout une affaire de moteur, aussi demanda-t-on des renseignements à divers constructeurs. M. Krauss de Munich s'engagea à faire des machines locomotives pouvant remonter sur cette inclinaison 2 voitures contenant 40 voyageurs chacune, soit un poids brut de 17,500 kilogrammes, sans dépasser le poids de 25 tonnes en service. Ses propositions furent agréées.

Le tracé part de Zurich, à Selnau, près du jardin botanique; il passe au-dessus du chemin de fer de la rive gauche du lac, et traverse la Sihl sur un pont métallique à trois travées; de là il s'élève sur le flanc de la montagne, en la contournant au nord et à l'ouest.

La longueur totale est de 9,160 mètres.

Le profil en long est naturellement très-accidenté, la pente moyenne serait de 44 millièmes; mais les rampes supérieures à 50 millimètres par mètre entrent pour 59 pour 100 de la longueur, on y trouve des inclinaisons de 53, 55, 57, 60, 62, 67 et 70 millimètres.

Les courbes sont de 150 mètres et 135 mètres de rayon, ce dernier rayon coïncide avec une inclinaison de 62 millimètres.

La voie est à l'écartement normal, et les rails en fer pèsent 30 kilogrammes par mètre courant.

Il y a trois machines-tender du type Krauss; ces machines à six roues couplées sont caractérisées par le petit diamètre des roues, 0,910, et par le faible écartement des essieux extrêmes, 2 mètres; elles pèsent vides 19 tonnes et en service 24 à 25; la surface de chauffe est de 72 mètres carrés, le diamètre des pistons $0^m,320$, la course $0^m,540$.

Les voitures à voyageurs, au nombre de 6, sont à plates-formes et à passage central, pouvant contenir 40 personnes. Elles sont munies d'une caisse à bagages sous le châssis, entre les roues, leur poids vide est de 5,750 kilogrammes. Il y a, en outre, trois wagons à marchandises. M. Mallet rappelle, en passant, que si la présence de wagons à marchandises dans le matériel d'un chemin de fer de touristes peut, à première vue, paraître une précaution inutile, il ne faut pas oublier que le

chemin du Rigi, où l'élément marchandises n'avait paru devoir apporter au trafic qu'un appoint insignifiant, a transporté, dans la campagne de 1874, 9,482 tonnes de marchandises, qui ont donné lieu à une recette de 177,000 francs.

Ce chiffre s'explique surtout par la construction des hôtels et leur approvisionnement.

Le chemin de l'Uetliberg aura coûté environ un million et demi de francs, soit 166,000 francs par kilomètre; il n'y a là rien d'extraordinaire, pour un chemin construit dans le voisinage immédiat d'une grande ville; l'achat des terrains entre dans ce chiffre pour 22,500 francs par kilomètre.

M. Mallet est monté à l'Uetliberg, le 24 avril dernier; la machine poussait devant elle trois wagons chargés de ballast, et portant des ouvriers en assez grand nombre. Le poids brut remorqué était de 25 à 28 tonnes; cette charge a été remontée sans difficulté à une vitesse variant de 13 à 17 kilomètres à l'heure, la pression se maintenant à 12 atmosphères.

La descente se fait à l'air comprimé, au moyen de l'appareil employé sur les machines du Rigi, et qui a été décrit au Bulletin de la Société, 2e trimestre 1871. A la descente, la vitesse a atteint parfois 25 à 30 kilomètres.

Dans des essais faits, le 19 mars, par des professeurs de l'École polytechnique de Zurich, le poids remorqué était de 25 tonnes, on a trouvé un effort de traction de 3,400 kilogrammes, et un travail de 200 chevaux nets.

On compte donc pouvoir remonter régulièrement 3 voitures contenant en tout 120 voyageurs.

La ligne doit être ouverte à l'exploitation ces jours-ci.

Une particularité intéressante à signaler, c'est l'emploi d'un jet d'eau lancé sur les rails, en avant des roues de la machine, jet assez abondant pour laver complétement les rails. On avait observé, depuis longtemps, que l'influence sur l'adhérence d'une légère humidité, telle que celle que dépose le brouillard, et celle d'une véritable couche d'eau déposée par la pluie, sont absolument différentes.

Au chemin de fer Central Suisse, on emploie un jet d'eau sur les roues d'avant de certaines machines, pour faciliter le passage dans les courbes, et l'effet sur la conservation des bandages a été remarquable, mais ce jet d'eau, qui était seulement destiné à lubréfier la partie intérieure du boudin, mouille toute la surface de contact du bandage; on n'a pas remarqué qu'il en soit résulté de modification dans l'adhérence; ce jet d'eau ne dispense pas de l'emploi du sable, tandis qu'à l'Uetliberg il n'est absolument pas fait usage de sable, mais exclusivement d'eau. Disons, en passant, que le poids d'eau à remonter pour cet objet ne doit pas être négligeable.

En résumé, on peut dire que, sur le chemin de l'Uetliberg, une locomotive à adhérence ordinaire remonte, sur des rampes allant jusqu'à 7 centimètres par mètre, une charge égale ou un peu supérieure à son propre poids. C'est là un fait d'expérience, en pleine concordance, du reste, avec les faits résultant de l'exploitation du chemin de fer de Tavaux-Pontséricourt.

Il resterait à examiner si l'emploi, dans ce cas, d'une machine pesante et de rails lourds est la meilleure solution. Il faut attendre les résultats que donnera l'exploitation pour se prononcer à ce sujet; mais on peut dire qu'il y aura là un élément très-intéressant de comparaison avec le système à crémaillère, dont un nouveau spécimen à rampe de 9 centimètres, le chemin de Rorschach à Heiden, sera prochainement livré à l'exploitation.

M. Mallet vient également d'assister aux essais des nouvelles machines à crémaillère du chemin de Arth-Rigi, dont il a dit quelques mots dans la séance du 2 octobre 1874. Il rappelle sommairement que la ligne dont il s'agit est un second chemin de fer destiné à relier le Rigi-Kulm au lac de Zug, par le versant nord de la montagne.

Cette ligne, dont la longueur totale est de 11 kilomètres, comprend un chemin de plaine de 1,500 mètres, à pentes maxima de 25 millimètres entre Arth et Ober-Arth, exploité par des machines ordinaires toute l'année, et destiné en même temps à relier Arth à la ligne du Saint-Gothard qui passera à Ober-Arth.

Le chemin à crémaillère part de ce dernier endroit; le maximum des inclinaisons atteint 20 pour 100, et il y a une longueur continue de 2,500 mètres, avec une pente qui diffère peu en moyenne de ce chiffre; le rayon des courbes, qui est le même pour toutes les lignes à crémaillères, est de 180 mètres.

La construction de ce chemin de fer, qui sera inauguré à la fin de ce mois, a présenté de grandes difficultés; on y trouve des travaux d'art d'une assez grande importance.

Les machines locomotives sur lesquelles M. Mallet désire attirer particulièrement l'attention de la Société, et dont il a tracé au tableau un croquis au tiers de grandeur naturelle, présentent deux particularités intéressantes. La première est l'emploi de chaudières ordinaires, à tubes horizontaux; il a fallu, pour passer d'un niveau horizontal à des pentes de 20 pour 100, des dispositions spéciales : d'abord les tubes sont assez courts, 2^m,33, plus longs toutefois que les tubes des chaudières verticales qui n'ont que 1^m,87; puis on a établi les chaudières de manière à se trouver horizontales sur une inclinaison moyenne de 10 pour 100, de sorte que la chaudière penche en avant sur niveau, et en arrière sur la rampe de 20 pour 100; l'orientation de la machine est d'ailleurs toujours la même. Au chemin de Rorschach où la pente est de 9 pour 100, et qui sera desservi par le même type de machines, les chaudières se trouveront donc horizontales sur la pente. La seconde particularité à signaler est l'augmentation du nombre des dents de la roue qui engrène avec la crémaillère, 33 dents au lieu de 20.

L'appareil de descente à l'air comprimé est celui qui a été décrit.

Le résultat de ces nouvelles dispositions est une amélioration dans les conditions de développement de la puissance, par rapport aux anciennes machines, et surtout une augmentation dans la vitesse de translation. On peut dire, en passant, qu'il en est également résulté un avantage qui n'est peut-être pas à invoquer, devant une réunion d'ingénieurs, mais qui n'est pas insignifiant à un certain point de vue : c'est que les nouvelles machines ont l'air d'*une vraie locomotive;* on a quelquefois reproché aux premières machines du Rigi leur aspect insolite, qui leur donnait l'apparence d'un jouet d'enfant, plus que d'une machine sérieuse.

M. Mallet a assisté aux essais des deux premières machines de la ligne d'Arth, qui sont en même temps les deux premières sorties des ateliers de la Société internationale pour la construction des chemins de fer de montagnes à Aarau; ces machines font le plus grand honneur à ces établissements et à leurs habiles administrateurs délégués, MM. Riggenbach et Zschokke. Pour ne pas dépasser le poids de 16 tonnes en service, on a dû ne rien négliger; l'acier y est employé de la manière la plus étendue; la chaudière, sauf le foyer, les tubes, les longerons, les essieux, les roues, les engrenages et le mécanisme sont en acier. Le travail est très-remarquable,

M. Mallet signale particulièrement l'exécution des dentures d'engrenages, ainsi que les dispositions intelligentes prises pour atténuer les conséquences des efforts de torsion sur les axes, ce qui a permis de réduire au minimum les dimensions de ces pièces.

Les essais avaient surtout pour but de constater la vitesse possible de translation de ces machines, question intéressante, car une opinion assez répandue est que les machines à crémaillère ne peuvent pas dépasser la vitesse de 6 à 7 kilomètres à l'heure.

Or, la machine sur laquelle se trouvait M. Mallet a presque toujours fonctionné à 140 tours par minute; sur les très-fortes rampes la vitesse de rotation n'est pas descendue au-dessous de 120 tours, et dans la marche à la vapeur sur de faibles inclinaisons et à la descente, elle s'est élevée à 150 tours, et cela sans aucun choc appréciable. L'avancement étant de $3^{m},30$ par tour de la roue engrenant avec la crémaillère, et de $3.30 \times 0,418 = 1,38$ par tour de l'arbre moteur, la vitesse moyenne de translation a donc été de 11,600 mètres à l'heure, la vitesse minima de 10,060 et la vitesse maxima de 12,800.

Ces machines remontent une voiture à 54 places, type du Rigi, dont le poids est de 7 tonnes et demie en charge. Le trajet complet pourra s'effectuer en une heure environ, tandis qu'avec les anciennes machines il aurait fallu beaucoup plus de temps, c'était là une considération importante pour la nouvelle Compagnie.

Les mêmes machines serviront à l'exploitation de la ligne de Rorschach à Heiden, mais comme là les pentes ne dépassent pas 9 pour 100, les machines remonteront 3 ou 4 voitures à voyageurs du même modèle, soit 22,5 à 30 tonnes de poids brut. On peut donc considérer ce type de machines comme pouvant exercer un effort de traction à la circonférence de contact de la roue dentée à crémaillère, de 4,500 à 5,000 kilogrammes.

Ces chiffres sont intéressants à rapprocher de ceux qui ont été donnés pour l'Uetliberg, surtout si on se rappelle qu'à ce dernier chemin, le poids des machines et des rails est de 50 pour 100 plus élevé.

M. Mallet pense que la descente à l'air comprimé fournirait un moyen de faire, sur une très-grande échelle, une intéressante expérience de thermodynamique; il suffirait, en effet, d'envoyer le jet d'air et de vapeur, sortant du robinet régulateur de la descente, dans une caisse à eau convenablement disposée, et de mesurer la chaleur recueillie par l'eau dont on observerait le volume au commencement et à la fin de l'expérience, pour tenir compte de la vapeur condensée. Le travail représenté par un poids de 20 à 25 tonnes descendant de 1,350 mètres, soit 30 millions de kilogrammètres en nombre rond, est assez considérable pour qu'on puisse tirer des renseignements instructifs de cette expérience, dont M. Mallet espère pouvoir mettre un jour les résultats sous les yeux de la Société.

M. Rey, au sujet de l'emploi de l'eau dont a parlé M. Mallet, cite les expériences de M. Bochet, ingénieur des mines, sur le frottement de glissement (*Annales des Mines*, 1re livraison, année 1861), essais dans lesquels il a été constaté que l'adhérence était la même par un temps sec et par un temps de pluie. L'emploi de l'eau pour mouiller les rails ne semble donc pas irrationnel.

Ces expériences ont été faites avec le wagon à patins de M. Didier en adaptant à ce wagon des semelles en fer.

M. Richard appuie cette observation et rappelle qu'on ne se sert pas de sable lorsqu'il pleut.

M. LE PRÉSIDENT pense que lorsqu'on jette de l'eau sur les rails pour faciliter le passage dans les courbes, c'est qu'alors par un temps sec la difficulté du glissement des boudins est augmentée par les particules sableuses du ballast qui adhèrent aux côtés des rails et qu'il y a avantage à les laver. Quand au contraire les rails sont gras et que les roues patinent sans avancer, l'eau enlève la petite couche lubréfiante.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Mallet de son intéressante communication.

M. GAUTIER donne communication de sa note sur la déphosphoration des minerais de fer, par le procédé Jacobi, aux forges de Kladno (Bohême).

Les métallurgistes qui ont visité l'exposition de Vienne ont remarqué, dans la section de la Bohême, les produits de la déphosphoration des minerais de fer par la méthode Jacobi. On voyait des fers d'un nerf remarquable, supportant de fort beaux pliages à froid, et provenant de minerais qui, sans préparation, auraient donné des fontes à 2 pour 100 et plus de phosphore. Ayant eu, dans un récent voyage en Autriche, l'occasion de voir fonctionner ce procédé, je donnerai ici les renseignements qui m'ont été communiqués, et les résultats que j'ai constatés moi-même.

Le problème de la déphosphoration n'a pas perdu toute son importance, même après les procédés nouveaux, qui permettent de laisser dans l'acier pour rails, jusqu'à 3 et 4 millièmes de phosphore, pourvu que l'on abaisse à 1 ou 2 millièmes la teneur en carbone.

Les gisements les plus importants et les plus nombreux, ceux qui semblent inépuisables, sont malheureusement riches en phosphore, et il faut des perfectionnements notables dans la métallurgie pour espérer produire, avec ces minerais, des aciers pour les usages les plus courants de l'industrie. La quantité de minerai qui est ainsi dépréciée est considérable; les couches du Cleveland, du Luxembourg, de la Lorraine, de la Bavière, du Hanovre, de la Bohême, et de plusieurs autres localités présentent ce caractère. Les fontes qui en proviennent renferment de 1 1/2 à 2 pour 100 et plus de phosphore. Le puddlage ordinaire abaisse à 7 ou 8 millièmes la teneur en phosphore du fer. C'est encore beaucoup trop pour que de semblables matières entrent en quantité notable dans la fabrication des rails d'acier. Une méthode de déphosphoration des minerais, à la fois efficace et économique, rendrait à ces districts métallurgiques le débouché que la suppression des rails en fer et l'extension prochaine des fers spéciaux en métal fondu tendent à leur fermer de jour en jour.

A un autre point de vue, on rendrait un grand service à l'agriculture en lui restituant les phosphates qui souillent les minerais de ces provenances. On peut évaluer à 30 000 tonnes de phosphore la quantité renfermée annuellement dans les produits du Cleveland, et dont elle diminue la valeur; tandis que l'agriculture pourrait payer cette matière nuisible plus de 7 000 000 de francs. On comprend tout l'intérêt qui s'attache à la solution d'un semblable problème, et les efforts qui ont été faits déjà.

CONDITIONS DANS LESQUELLES SE POSE LE PROBLÈME DE LA DÉPHOSPHORATION DES MINERAIS.

État du phosphore dans le minerai de fer. — On ne sait généralement pas d'une manière certaine à quel état se trouve le phosphore dans les minerais de fer. Avant

que l'on ne possédât la méthode du molybdate d'ammoniaque, avec les perfectionnements d'Eggertz, le dosage des petites quantités de phosphore était excessivement incertain, et d'une lenteur qui n'attirait pas les recherches théoriques des chimistes.

Il est certain que le phosphore est à l'état de phosphate. On ne comprendrait pas bien, d'ailleurs, que ce métalloïde, si avide d'oxygène, ait résisté aux actions oxydantes qui ont présidé à la formation des minerais de fer. Mais à quelle base est combiné l'acide phosphorique? Est-ce l'oxyde de fer, la chaux ou l'alumine?

L'expérience suivante montre que généralement *le phosphore n'est pas à l'état de phosphate de fer dans le minerai.* On prend de la vivianite, phosphate naturel de protoxyde de fer; on la met en digestion avec du sulfhydrate d'ammoniaque. Le fer passe à l'état de sulfure, et il se fait du phosphate d'ammoniaque :

$$3FeO^3, PhO^5 + 3AzH^4S = 3FeS + 3AzH^4O, PhO^5.$$

Si on grille la vivianite pour la faire passer à l'état de phosphate de peroxyde de fer, il se forme une réaction analogue avec production de phosphate ammoniacal et de sulfure de fer. Le sulfhydrate d'ammoniaque ne décompose, au contraire, ni les phosphates terreux, ni les phosphates alcalino-terreux. On voit donc qu'un minerai qui renferme du phosphate de fer devra, après une digestion convenable dans le sulfhydrate d'ammoniaque, donner lieu à une production de phosphate ammoniacal facile à reconnaître, de la manière suivante : on filtre pour séparer le minerai de la liqueur; on lave avec soin et on décompose le sulfhydrate par l'acide azotique; on sépare le soufre par filtration, après repos de vingt-quatre heures, au bain de sable, et après concentration de la liqueur azotique on précipite le phosphore par le molybdate d'ammoniaque.

En appliquant cette méthode aux minerais de Kladno, du Cleveland et du Luxembourg, je n'ai pas trouvé de phosphore à l'état de phosphate de fer, ou tout au plus le vingtième de la proportion qu'ils renferment, et que j'avais dosée préalablement.

Est-ce avec la chaux, ou avec l'alumine, qu'est combiné l'acide phosphorique dans les minerais de fer?

Pour résoudre cette question, il faut employer un dissolvant de ces phosphates, qui n'attaque pas sensiblement l'oxyde de fer.

En ayant soin de griller le minerai, l'acide sulfureux n'attaque pas l'oxyde de fer, il dissout à peu près aussi bien le phosphate de chaux que le phosphate d'alumine, comme je m'en suis assuré par des essais directs. Mais le carbonate de chaux du minerai devenant, après le grillage, soluble dans l'acide sulfureux, il faut opérer autrement pour évaluer la partie de l'acide phosphorique qui est combinée avec la chaux ou l'alumine.

On dose la chaux totale et l'acide carbonique du minerai (que je supposerai ne pas être du fer carbonaté) en employant les méthodes ordinaires de dosage. On en conclut la proportion de carbonate de chaux, le surplus de la chaux devant être combiné à l'acide phosphorique. Pour avoir le phosphate d'alumine, on fait agir sur le minerai grillé fortement une dissolution d'acide sulfureux pendant vingt-quatre heures. Ni le fer, ni l'argile ne sont attaqués, et en recherchant l'alumine qui se trouve dans la liqueur, on dosera le phosphate d'alumine. Comme vérification, on dose le phosphore total.

En appliquant ces méthodes aux minerais déjà cités, Kladno, Luxembourg, Cle-

veland et Moselle, j'ai trouvé que les deux phosphates de chaux et d'alumine s'y rencontrent simultanément. Il est naturel que le phosphate de chaux introduit dans les minerais par les débris de fossiles se retrouve par l'analyse chimique. Mais le phosphate d'alumine semble se rencontrer en proportion plus considérable qu'on ne l'avait supposé avant les recherches de M. Jacobi, sur le minerai de Kladno.

Solubilité des différents phosphates. — L'intérêt que présente l'étude de l'état sous lequel se trouve le phosphore dans les minerais tient à la différence de solubilité des phosphates de fer, de chaux et d'alumine.

Le phosphate de fer n'est soluble que dans les acides énergiques et notablement concentrés, c'est le moins soluble des trois phosphates considérés. Il se dissout dans l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique et le chlorure de fer, mais il résiste à l'acide acétique.

Le phosphate d'alumine et le phosphate de chaux sont insolubles dans l'eau, tout comme le phosphate de fer; mais ils se dissolvent facilement dans l'eau chargée de sel marin, de chlorure de magnésium, de nitrate de soude et de sel ammoniacal; ils sont solubles dans les acides, même quand ils sont assez étendus pour ne pas attaquer l'oxyde de fer, surtout si ce dernier a été fortement grillé. L'eau chargée d'acide carbonique dissout en partie le phosphate de chaux et d'alumine.

On voit donc que, pour les minerais où le phosphore n'est pas à l'état de phosphate de fer, sa dissolution sera relativement facile.

INSUCCÈS DES ESSAIS ANTÉRIEURS DE DÉPHOSPHORATION PAR VOIE HUMIDE.

Dès 1865, on avait proposé pour le minerai d'Ilsederhütte, en Hanovre, qui renferme 25 pour 100 de carbonate de chaux, 27,5 de fer et plus de 1 pour 100 de phosphore, une déphosphoration par voie humide. Le minerai grillé, débourbé à l'eau courante pour enlever l'excès de chaux et les menus, se trouvait réduit à la grosseur d'une noisette. On le traitait pendant vingt-quatre heures par une dissolution de 15 pour 100 d'acide chlorhydrique, étendu de quatre fois son volume d'eau. La teneur en phosphore de la fonte descendait ainsi de 4 pour 100 à 1/2 pour 100. En évaporant la dissolution acide, on obtenait un phosphate renfermant 3 1/2 pour 100 de phosphore, qui devait servir d'engrais et couvrir une partie des frais du traitement. Quand on voulut appliquer ce procédé en grand, il ne donna pas de résultats économiques, et fut abandonné.

En 1869, Rowan de Glasgow chercha à griller des minerais phosphoreux, en présence du chlorure de sodium et de magnésium; on traitait ensuite par l'eau. Il espérait enlever ainsi le phosphore et le soufre. Les résultats ne furent pas plus heureux que les précédents essais. Dans le grillage, la plus grande partie du chlorure de sodium se volatilisait, ou les chlorures formés se décomposaient de nouveau.

Un ingénieur allemand essaya d'employer à la dissolution des phosphates l'acide chlorhydrique, produit très-économiquement de la manière suivante : Aux mines de Stassfurt, on obtient dans la préparation des sels de potasse de grandes masses de chlorure de magnésium, qui restent sans valeur. Ce chlorure chauffé à la température de fusion du plomb se décompose en magnésie et acide chlorhydrique en vapeur. Je ne sais quels furent les résultats obtenus, mais en tout cas ils ont dû être médiocres, car ce procédé n'est appliqué nulle part.

Tel était l'état de la question, quand M. Jacobi mit en pratique, et sur une assez grande échelle, sa méthode de déphosphoration des minerais de fer.

PROCÉDÉ JACOBI OU DE KLADNO.

Adalbert-Hütte, à Kladno (Bohême), appartient à la *Prager-eisenindustrie Gesellschaft*. C'est un établissement composé de quatre hauts fourneaux, avec fonderie, forge et ateliers de constructions. Il est situé sur un bassin houiller assez important dans les environs de Prague.

Le minerai qui l'alimente est au sud de cette ville, à Nucice, dans le district d'Unhost, et est amené à l'usine par un chemin de fer spécial de 26 kilomètres de longueur. Il est formé de trois couches, l'une de 20 mètres de puissance, la seconde de 5 à 6 mètres et une autre de $1^m,50$ à 2 mètres. Il appartient au terrain silurien inférieur; sa couleur est gris sombre, avec trace fréquente de structure pisolitique. La teneur en fer de 33 à 35 pour 100, et la régularité des couches le font ressembler aux gisements du Luxembourg et de la Lorraine; mais sa teneur en phosphore est beaucoup plus forte et atteint 1 1/2 pour 100, quand il est grillé. Aussi les produits qui en dérivent ont-ils peu de valeur; les fontes sont fragiles et les fers sont à gros grain plat, ne convenant guère que pour rails, peu estimés d'ailleurs.

Description du traitement. — Le minerai concassé en morceaux assez petits, de 100 à 200 grammes au plus, est grillé dans des fours verticaux, qui n'ont rien de particulier. Il est porté de là dans de grands bassins rectangulaires, dont les parois sont en planches, et qui peuvent contenir 500 tonnes. Dans des fours à sole horizontale, analogues à ceux qui servent à la fabrication de l'acide sulfurique, on grille de la pyrite de fer. L'acide sulfureux produit est condensé par l'eau dans des appareils spéciaux, et de là il se rend dans les bassins de lessivage. Cette dissolution séjourne vingt-quatre heures au contact du minerai, puis on l'évacue pour laisser égoutter; elle passe ensuite dans un serpentin en fonte, analogue à l'appareil Wasseralfingen, pour le chauffage de l'air des hauts fourneaux, et on élève sa température à 80 ou 90°. L'excès d'acide sulfureux se dégage, et on retrouve ainsi 30 pour 100 environ de la quantité primitivement produite. Le liquide est conduit dans un bassin, où il se dépose sous forme de poudre blanche impalpable, un phosphate d'alumine impur, ayant en moyenne la composition suivante :

Acide phosphorique	22,5
Alumine	24,3
Oxyde de fer	2,0
Silice	5,1
Eau	36,7
Acide sulfurique	9,2
	99,8

En admettant que l'acide sulfurique soit saturé par l'oxyde de fer et un peu d'alumine, on trouve un phosphate d'alumine répondant à la formule :

$$2PhO^5,\ 3Al^2O^3,$$

analogue au phosphate naturel, qui porte le nom de Wawellite.

Degré de déphosphoration et résultats pratiques. — Voici, d'après les ingénieurs de l'usine, la composition moyenne du minerai grillé, avant et après la déphosphoration :

COMPOSITION.	AVANT.	APRÈS.
Fer	43 %	46 %
Alumine	14 à 18	6 à 8
Silice	14 à 16	20 à 22
Phosphore	1 1/2	1/4

J'ajouterai à ce nombre, que la chaux qui atteignait 4 pour 100 tombe aux environs de 1 pour 100, suivant des analyses que j'ai fait faire.

J'ai pris des échantillons en cours de travail, et je donne ici, dans un tableau, les résultats que j'ai trouvés.

MILLIÈMES DE PHOSPHORE.	MINERAI.	FONTE.	PUDDLÉ.
Minerai naturel	11 à 12	17 à 21	8 à 9
Minerai lavé à l'acide sulfureux	2 à 3	5 à 6	1,5 à 2
Minerai lavé à l'eau ordinaire	5 à 6	10 à 11	

On remarquera la déphosphoration sensible obtenue par un lessivage à l'eau ordinaire. Le minerai étant aussi pyriteux, le grillage produit de l'acide sulfurique et des sulfates qui, en présence de l'eau, dissolvent les phosphates. Le but de ce lessivage simple est la production de fontes de moulages plus carburées et plus résistantes; le soufre, facilitant la dissolution du carbone, et empêchant la formation de fontes très-grises.

Conditions économiques. — Il est difficile, pour un procédé métallurgique aussi nouveau, de déterminer le prix de revient, sans s'en rapporter plus ou moins aux inventeurs.

Voici ce que j'ai recueilli de deux sources différentes, et avec une assez grande concordance.

Prix du lessivage d'une tonne de minerai grillé :

Pyrite de fer de Siegen, 125 kilogrammes, à 65 francs la tonne....	8.10
Houille, main-d'œuvre, etc.	2.10
	10.20

Ce prix ne m'a pas semblé grevé de frais généraux, l'habitude dans beaucoup d'usines étant de n'en faire porter qu'aux produits finis; c'est plus simple comme comptabilité, mais c'est inexact en réalité.

En tenant compte de la teneur du minerai, on arriverait à 25 ou 30 francs par tonne de fonte, pour l'enlèvement des trois quarts du phosphore. Il n'y a pas lieu,

comme nous le verrons par la suite, de déduire de ce prix une somme notable pour utilisation des phosphates précipités.

Théorie du procédé. — Le minerai est concassé en morceaux assez petits, pour faciliter le contact avec la dissolution, sans toutefois arriver aux poussières qui embourberaient les bassins et gêneraient la déphosphoration. Le grillage a un double but, c'est *de rendre la matière plus poreuse,* plus facile à imbiber et en même temps *de faire passer le fer à l'état de peroxyde anhydre, beaucoup plus difficile à attaquer par les acides faibles.* Ces deux conditions semblent assez bien remplies, car la déphosphoration pénètre assez au cœur des morceaux de minerai, et la perte en fer est très-faible. Je n'ai pas de renseignements sur la quantité de fer qui se rencontre dans les eaux de lavage; mais il y en a certainement, et l'absence de dépôts ferrugineux dans les conduites à ciel ouvert, ainsi que la transparence du liquide, ne sont pas des indices suffisants, le sulfite et le sulfate produits étant forcément des sels de protoxyde de fer, en présence d'un semblable excès d'acide sulfureux.

Quoi qu'il en soit, la teneur en fer du minerai augmente notablement par le lessivage et passe facilement, dans les échantillons que j'ai analysés, de 43 à 50 pour 100, ce qui ne prouve pas une perte sérieuse. Nous voyons également que le phosphate formé renferme très-peu de fer. A ce point de vue, on peut dire que le choix de l'acide sulfureux est fort heureux; il évite les pertes en fer, outre que c'est l'acide le plus économique à produire.

L'action dissolvante de l'acide sulfureux se porte sur la chaux du minerai, et on peut admettre que cette base disparaît presque en totalité. Nous voyons que les 3/4 ont été enlevés dans les échantillons analysés. Cet enlèvement de la chaux pourrait causer quelques difficultés dans les minerais très-calcaires; il pourrait amener une grande consommation d'acide et, en outre, rendre très-friable le minerai lessivé; ce qui produirait beaucoup de poussières, condition nuisible à la bonne marche des hauts fourneaux.

L'action dissolvante de l'acide sulfureux se porte également sur les phosphates de chaux et d'alumine, comme je l'ai constaté dans des essais en petit sur les différents minerais dont j'ai déjà parlé. Les ingénieurs de Kladno admettent qu'ils enlèvent la majeure partie du phosphore, qui se trouve à l'état de phosphate d'alumine, et que ce qui résiste à l'action dissolvante de l'acide sulfureux se trouve à l'état de phosphate de chaux. L'enlèvement de ces dernières traces de phosphore deviendrait plus difficile et plus coûteux, à cause de l'excès d'acide sulfureux qui serait alors nécessaire. Je n'ai pas approfondi ce qu'il pourrait y avoir de fondé dans cette explication de la déphosphoration actuellement imparfaite des minerais, mais je n'ai pas trouvé cependant une différence assez notable dans la solubilité des phosphates de chaux et d'alumine, pour qu'on pût admettre cette manière de voir sans contrôle.

Quant à la déphosphoration, elle est évidente, et ressort clairement des échantillons que j'ai pris moi-même; elle est imparfaite comme toute action en grand qui s'exerce sur des éléments d'un aussi gros volume que des morceaux de minerai de 100 à 200 grammes. L'échauffement de la dissolution à 80 ou 90° a pour but de chasser l'acide sulfureux, et par suite de rendre insolubles les phosphates préalablement dissous. Malheureusement, une dissolution d'acide sulfureux ne peut rester même vingt-quatre heures au contact de l'air, sans se transformer en partie en acide sulfurique. L'évaporation de l'acide sulfureux restant n'empêche pas la solu-

bilité presque complète des phosphates, dans l'acide sulfurique formé. La quantité de phosphate d'alumine qui se précipite est donc très-faible, relativement au phosphore enlevé; c'est ce qui empêche de faire entrer en compte le phosphate produit à l'actif du prix de revient de l'opération. La supériorité de l'acide sulfureux comme dissolvant, relativement aux acides chlorhydrique et sulfurique, s'évanouit donc en grande partie. Pour arriver à une utilisation sérieuse des phosphates, il faudrait procéder par évaporation, ce qui semble impraticable comme prix.

Jusqu'ici, l'utilisation et la transformation du phosphate précipité ont eu lieu à Prague, chez Rademacher, de la manière suivante : On dissolvait le phosphate par l'acide sulfurique, on ajoutait du sulfate de potasse, et il se formait du sulfate double d'alumine et de potasse ou alun, que l'on faisait cristalliser. Les eaux-mères étaient neutralisées par la chaux, et formaient un phosphate utilisable dans l'agriculture.

Je n'ai pas de nombres à citer pour montrer l'importance de cette transformation relativement aux tonnes de minerai traitées, mais je puis affirmer que, de ce côté, on n'a pas vu se réaliser les premières espérances de l'inventeur. D'ailleurs, la situation financière de la *Prager-industrie Gesellschaft* et la disproportion des frais du traitement avec le résultat obtenu, dans un pays si voisin de la Styrie, où les matières premières pures sont à un bas prix extrême, ont empêché le procédé de prendre un développement réellement industriel. Les essais ne sont pas sortis d'une certaine échelle, relativement grande cependant, et s'il y avait pour l'usine de Kladno à poursuivre quelque chose dans cette voie, il est probable qu'on s'en tiendrait au lessivage à l'eau pure des minerais grillés, dans le but d'améliorer la fabrication des fontes de moulage, sans chercher à déphosphorer complétement, et cela en utilisant très-ingénieusement la présence de la pyrite dans les minerais.

COMPARAISON DU TRAITEMENT DES MINERAIS PAR VOIE HUMIDE, AVEC LES MODES DE DÉPHOSPHORATION AGISSANT SUR LES FONTES.

Sans vouloir sortir ici du cadre que comporte une semblable communication, je crois utile de passer en revue les résultats d'autres méthodes d'épuration employées jusqu'ici pour se débarrasser du phosphore.

Le *procédé Heaton*, fondé, comme on le sait, sur l'action du nitrate de soude en présence de la fonte liquide, enlevait d'une manière incontestable la majeure partie du phosphore. A quoi était due cette épuration du produit? Est-ce à la nature excessivement basique de la scorie formée, je ne le pense pas ; la théorie spécieuse de la déphosphoration par les bases a égaré les inventeurs sur un terrain où la pratique s'est trouvée complétement en désaccord. La soude pas plus que la magnésie ne semblent des éléments sérieux de déphosphoration.

MM. Pourcel et de Bonneville, aux aciéries de Terre-Noire, ont phosphoré de la fonte pure, en la fondant en présence de phosphate de soude. J'ai constaté d'ailleurs, récemment, que le puddlage, en présence de la chaux, de fontes éminemment phosphoreuses donne des fers qui, sous une apparence nerveuse, renferment une proportion de phosphore plus grande que le puddlé ordinaire des mêmes fontes. C'est donc plutôt à la nature éminemment fluide de la scorie qu'était due la déphosphoration dans le procédé Heaton. L'état pâteux du produit déphosphoré facilitait d'ailleurs, comme dans le puddlage, la séparation des impuretés plus facilement fusibles.

Perfectionnements divers dans le puddlage des fontes phosphoreuses. — Les addi-

tions déphosphorantes au puddlage n'ont pas manqué depuis quelques années. Sans parler du procédé Sherman, qui appliquait à dose homœopathique l'iodure de potassium, le procédé Henderson avec son emploi, sur une large échelle, du fluorure de calcium, pourrait peut-être rendre quelques services et sans grever beaucoup le prix de revient.

Récemment, les Belges ont obtenu de bons résultats avec le mélange du spiegel aux fontes phosphoreuses. Mais il suffit à un homme pratique d'avoir fait puddler du spiegel, pour se rendre compte de l'aggravation considérable que la présence du manganèse amène dans le travail déjà si pénible du puddlage. Cette solution ne pourrait être recherchée de ce côté, que dans un puddlage entièrement mécanique.

Je n'ai pu trouver nulle part de renseignements sur la déphosphoration au four Pernot. Les commissaires anglais ont, dans leur rapport sur le four Danks en Amérique, donné des chiffres d'épuration qui seraient très-satisfaisants. Tout récemment, le four Crampton semble promettre une solution plus radicale encore. N'ayant pas été à même de vérifier ces diverses assertions, je laisserai la pratique et l'expérience décider entre ces systèmes.

Conclusions. — En présence de cet espoir de déphosphoration par le puddlage mécanique, que doit-on penser des déphosphorations par voie humide, par des méthodes analogues à celle de Kladno? Évidemment, sauf quelques cas isolés, dans des conditions toutes spéciales, il n'y a rien à conseiller de ce côté. Au point de vue pratique, il est peu commode d'alimenter des fourneaux faisant 80 et 100 tonnes de fonte blanche par jour, comme on en voit dans le Luxembourg, avec des minerais qui, traités par voie humide, doivent demander un temps assez long pour se dessécher convenablement. La déphosphoration, toute réelle qu'elle soit, n'est pas assez radicale pour faire admettre un semblable procédé. Il est certain cependant qu'avec les minerais les plus phosphoreux, on pourrait obtenir des fontes qui, puddlées à la main, donneraient des matières premières très-convenables à la fabrication des rails d'acier. Les efforts doivent plutôt se tourner vers la réalisation pratique du puddlage mécanique. C'est dans les conditions d'épuration spéciale qu'il présente, que doit être la véritable solution économique de la déphosphoration. On verra alors se justifier cette théorie nouvelle de la purification au puddlage *par la liquation*, imaginée par Percy, et présentée par Siemens, sous cette forme imagée et saisissante : *le fer pur prend naissance dans le puddlage comme la glace pure se forme par la congélation de l'eau de mer et laisse les sels en dissolution.*

M. Jules Garnier, au sujet de la communication de M. Gautier, croit devoir rappeler les expériences faites par M. Greiner, sur la déphosphoration du fer par le chlore. Cet ingénieur avait observé que, lorsqu'on décape des riblons avec de l'acide chlorhydrique, le fer obtenu de ces riblons est meilleur; en en recherchant la cause, il trouva que la quantité de phosphore contenue dans le fer avait diminué; il arriva à reconnaître qu'il restait de l'acide chlorhydrique, qui, au puddlage, s'en allait sous forme de chlorure de phosphore; mais s'il y avait du chlore en excès, il en restait une partie qui rendait le fer cassant.

M. Jules Garnier dit qu'il faisait alors quelques essais à ce sujet, guidé par une expérience de M. Daubrée, sur l'influence du chlorure de silicium sur les bases terreuses; le chlorure de silicium les décompose à chaud, il se forme un chlorure avec le métal de la base, tandis que le silicium passe à l'état de silice.

M. Garnier avait l'intention de faire passer un courant de chlorure de silicium dans un bain de fer fondu, mais il a été arrêté par les difficultés qu'a présentées la préparation industrielle du chlorure de silicium.

M. Gautier n'avait pas eu connaissance des faits cités par M. Garnier, mais il connaissait l'action d'un excès de chlore qui rend le fer cassant; cette action se manifeste lorsqu'on cherche à utiliser pour fer et étain les rognures de fer blanc.

M. Lencauchez, en réponse à M. Gautier, dit que le phosphore ne se trouve en quantité notable dans les minerais de fer qu'à l'état de phosphate tribasique de chaux.

M. Lencauchez explique qu'à haute température l'acide silicique (silice) chasse de ses combinaisons l'acide phosphorique; que, dans le haut fourneau, ce dernier acide se trouve réduit par le fer qu'il oxyde, et passe dans la masse, soit la fonte, à l'état de phosphure de fer. C'est pourquoi, ainsi qu'il l'a fait connaître dans la séance du 7 août dernier (1874), M. Lencauchez assure, avec tous les chimistes-métallurgistes, que tout le phosphate de chaux d'un minerai est réduit dans le haut fourneau aussi bien que l'oxyde de fer, tant que la silice n'est pas sursaturée par l'alumine, la chaux ou autres bases plus énergiques encore; c'est ce qui fait que généralement, en Moselle, on ne trouve pas trace d'acide phosphorique et de phosphore dans les laitiers des hauts fourneaux, tout l'acide phosphorique ayant été réduit en phosphore qui s'est combiné avec le métal. Aussi, M. Lencauchez pense-t-il que, pour réduire au minimum possible la quantité de phosphore qu'une fonte de Moselle peut renfermer, il faut une allure très-chaude, due à une injection de vent, à la température de 500° à 600°, et un lit de fusion très-basique, soit donc très-calcaire, rendu cependant très-fluide par suite de la très-haute température.

Répondant à M. Garnier, M. Lencauchez dit que le chlore se combine fort bien avec le soufre et le phosphore, puisque ces deux métalloïdes brûlent dans le chlore comme dans l'oxygène, mais que les combinaisons qui en résultent sont très-peu stables, en présence de l'eau, des gaz acides et des métaux, attendu que ces chlorures se composent d'éléments qui, pris isolément, ont des affinités d'une extrême énergie pour ceux qui composent l'eau et les gaz acides, ainsi que les métaux. Puisque le phosphore donne des phosphures métalliques très-stables, malheureusement beaucoup trop stables, et que le chlore produit des chlorures volatils, ou peu stables comme le chlorure de manganèse qui est décomposé à chaud sous l'influence de l'oxygène de l'air, le manganèse s'oxydant et le chlore se dégageant, M. Lencauchez ne saurait admettre que le chlore ou les chlorures puissent jamais chasser le phosphore d'un phosphure métallique, où la quantité de ce phosphure est dans la masse métallique totale, dans le rapport de 1 à 500.

M. de Bruignac donne une explication sur le procédé Sherman, qui vient d'être mentionné parmi plusieurs autres, prétendant arriver à l'élimination du phosphore. Ce procédé a la singularité d'agir à doses pour ainsi dire homœopathiques, et desquelles on ne peut attendre de combinaison chimique, puisque la matière employée est moins de 25 grammes par tonne de fonte. M. Gautier vient de citer qu'une usine a dernièrement essayé ce procédé, non pas sur une petite quantité, mais sur 100 tonnes de fer, et qu'on a trouvé pour le tout, sans exception, une résistance à la traction de 5 pour 100 supérieure à celle que donne habituellement le même fer; et néanmoins l'analyse ne signalait pas une diminution sensible de phosphore. L'inventeur croit expliquer ce résultat en disant que le phosphore passe à l'état amorphe, et cesse ainsi d'être nuisible. Il se fonde sur une expérience de laboratoire, facile à répéter,

dit-il, et qui serait celle-ci : si l'on prend une quantité *quelconque* de phosphore, et qu'on mette en contact avec la pointe d'une aiguille une particule d'iode (c'est la base du procédé) aussi petite qu'on voudra, une réaction énergique a lieu, et le phosphore devient amorphe en totalité. Quoi qu'il en soit, à cet égard, le fait signalé par M. Gautier est remarquable, et son explication resterait à découvrir.

M. Gillot a fait de nombreuses expériences sur les minerais phosphorés, sans avoir réussi à les améliorer; le seul moyen de déphosphoration qu'il ait trouvé consiste dans la marche à allure vive du haut fourneau; il passe ainsi plus de phosphore dans les laitiers.

M. Garnier désire expliquer une observation qu'il a faite précédemment et qui semble avoir été mal comprise. Il n'a pas voulu dire qu'on pourrait éliminer le phosphore en injectant un courant de chlore dans le bain métallique, mais seulement qu'un composé tel que le chlorure de silicium pourrait au moins agir à la manière du manganèse, le silicium en s'emparant de l'oxygène et le chlore en formant des chlorures de phosphore surtout; l'affinité du chlore pour le phosphore étant assez considérable, il y aurait des chances pour la formation d'une certaine proportion de chlorure de phosphore.

M. Lencauchez fait remarquer que le phosphure de fer d'une fonte de Moselle, qui se trouve dans la masse dans la proportion de douze à quatorze pour mille, est réduit à six ou sept par le puddlage pour les fers marchands, faits à raison de neuf à dix charges par postes (la demi-journée, soit douze heures), et à quatre et demie ou cinq pour mille, par le puddlage pour fil de fer, fer-blanc, etc., à raison de six à sept charges seulement par douze heures; si le garnissage est basique, *soit très-calcaire*, comme cela se pratique en Moselle depuis plus de quinze années.

Donc, suivant M. Lencauchez, par le puddlage on a oxydé le phosphore par voie de dissolution, en faisant réagir sur ce métalloïde l'oxygène de l'oxyde de fer, puis combiné l'acide phosphorique formé, avec les bases qui sont l'oxyde de fer, l'oxyde de manganèse, la chaux, l'alumine, etc.; mais à la condition d'avoir *sursaturé de bases l'acide silicique par un grand excès de chaux*, mise dans le four sous forme de garnissage calcaire. C'est pourquoi M. Lencauchez trouve qu'il n'y a qu'une méthode de déphosphoration possible, et que cette méthode est celle qui se pratique en Moselle depuis quinze années, *par la construction de soles et de garnissages calcaires qui déjà permet avec le puddlage à la main de chasser les 7/12 du phosphore que les fontes renferment.*

Comme conclusion, M. Lencauchez ajoute que par un affinage prolongé rien ne s'oppose à ce que quatre à cinq autres millièmes de phosphore ne soient encore chassés, afin de n'en plus laisser que de deux à deux et demi; ce qui ramènerait le métal affiné à une teneur en phosphore de deux à deux et demi pour mille, *permettant d'en faire de bon acier pour rail ou de forge, ainsi que des fers qualités au bois.*

C'est déjà ce que M. Forey, notre éminent collègue de Montluçon, a obtenu en traitant de mauvaises fontes au coke, à seize pour mille de phosphore dans un four rotatif chauffé au gaz (type Danks, Sellers, Crampton, etc.), et avec un garnissage en bauxite mélangé de minerai manganésifère.

Dans cet appareil, un travail mécanique considérable y exalte les affinités et réactions chimiques, qui ont déjà donné en Moselle d'excellents résultats. Et M. Lencauchez croit que *le four à sole tournante fortement inclinée* doit donner avec un garnissage basique d'aussi bons effets que le four rotatif, avec plus de simplicité et plus de sécurité.

Séance du 21 Mai 1875.

Présidence de M. Richard, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 mai est adopté.

M. Fichet présente à la Société, de la part de M. André, une règle à dessiner dont la partie essentielle est une bande de caoutchouc divisée, qui peut s'allonger plus ou moins et former des échelles différentes.

M. E. Roy fait observer que le même principe, l'extension d'une feuille de caoutchouc pour la réduction ou l'agrandissement des dessins qu'on y trace, est appliqué par les lithographes.

M. Molinos a la parole pour sa communication sur l'École Monge.

M. Molinos expose que le sujet de la communication qu'il désire faire à la Société, quoique présentant par lui-même un très-grand intérêt, ne rentre cependant pas d'une manière directe dans ses travaux habituels; il se fera donc un devoir d'être très-bref.

L'École Monge a été fondée, en 1869, par d'anciens Élèves de l'École polytechnique. Elle se propose de réformer les méthodes d'enseignement secondaire en usage aujourd'hui dans l'Université. Elle croit possible d'arriver, en moins de temps, à une connaissance plus complète des langues et des littératures anciennes, et par conséquent de réserver une part plus considérable à l'étude des langues vivantes et des sciences naturelles et exactes. C'est une entreprise absolument désintéressée et due tout entière à l'initiative privée; à ce double titre elle mérite la sympathie des membres de la Société. Le succès a d'ailleurs couronné les efforts de ses fondateurs. L'École compte aujourd'hui près de 400 élèves; elle en a refusé cette année plus de 200, faute de place, et se trouve ainsi mise dans l'obligation de s'agrandir considérablement.

M. Molinos entre dans quelques détails sur le plan des études de l'École, et les principes sur lesquels l'enseignement est fondé.

Un Membre demande si le mode d'enseignement des sciences mathématiques s'écarte sensiblement des méthodes employées dans l'Université.

M. Molinos répond que les programmes de concours pour l'admission aux Écoles du gouvernement laissent peu de marge à des améliorations très-importantes. Il fait cependant remarquer que les jeunes gens de 13 ans, qui au collége seraient en cinquième, ont déjà commencé sérieusement l'étude des mathématiques élémentaires.

M. Molinos informe la Société, que ceux de ses membres qui s'intéressent à ces questions d'enseignement trouveront à la Société des notices détaillées sur l'organisation de l'École Monge.

M. Dallot est parfaitement d'accord avec M. Molinos sur l'utilité qu'il y a à



montrer aux élèves les applications pratiques des sciences qu'on leur enseigne, il pense néanmoins que ce point de vue n'est pas aussi négligé qu'on peut le croire dans l'enseignement des lycées; le but des études mathématiques y est parfaitement tangible pour les élèves : ainsi, pour en citer un exemple, l'étude de la physique marche parallèlement avec celle des mathématiques et amène continuellement des applications de ces dernières.

M. le Président donne quelques explications sur les méthodes d'enseignement appliquées à l'École Monge. On conçoit que ces méthodes différant notablement des méthodes actuelles, on n'a pas pu organiser de suite l'ensemble de l'enseignement. Les classes ne peuvent être établies que progressivement, et chaque année l'enseignement avance d'un degré vers son état complet; ce n'est donc qu'à sa terminaison, c'est-à-dire lorsque les élèves subiront l'épreuve du baccalauréat, qu'on pourra juger de la supériorité des nouvelles méthodes; mais on peut prévoir, dès maintenant, un succès remarquable. On sait que tous les ans les inspecteurs de l'Université visitent les établissements d'instruction. En inspectant l'École Monge, ces fonctionnaires, questionnant les élèves et les interrogeant au hasard, ont été frappés des résultats obtenus. D'un autre côté, les parents qui peuvent journellement juger du développement intellectuel de leurs enfants, et le comparer avec celui d'autres enfants soumis au système ordinaire d'instruction, s'en montrent pleinement satisfaits. Cette impression universellement favorable se traduit par ce fait que l'École Monge, qui, fondée péniblement en 1869, a eu dès ses débuts à traverser la phase de la guerre, compte actuellement 350 élèves, et en a refusé cette année plus de 250, que ses classes encombrées ne lui permettent pas de recevoir. Or ces 350 élèves ne correspondent qu'à la moitié du cours complet, qui sera plus tard de 750, lorsque toutes les classes seront constituées; on doit donc reconnaître que l'essai de ce système d'études est fait sur une échelle réellement sérieuse, et de nature à donner lieu à des résultats concluants.

M. E. Roy voit dans le système d'études de l'École Monge une tentative très-intéressante, dont on doit souhaiter le succès et le développement; il signale toutefois un écueil à éviter, ce serait l'agglomération d'un trop grand nombre d'élèves dans le même établissement; il serait bien préférable, à son avis, de multiplier les établissements de ce genre, d'autant plus que cette division présenterait de grandes facilités pour les familles qui cherchent à ne pas trop éloigner leurs enfants.

M. Faliès désirerait savoir si, à côté de l'instruction qui lui paraît être bien organisée, on s'occupe de la question non moins importante de l'éducation des enfants.

M. le Président explique que cette question est résolue très-simplement; l'École Monge a très-peu d'internes, elle préférerait même n'en pas avoir du tout, elle ne déroge à ce principe que par exception pour ainsi dire, et pour ne pas refuser des enfants dont les familles sont éloignées; l'enfant est donc laissé autant que possible dans sa famille, et il peut d'autant mieux profiter de ce contact qu'il n'a aucun travail à faire en dehors de l'École.

M. Molinos, en réponse à une observation de M. Regnard, croit devoir insister sur ce point, que le principe du système d'études de l'École Monge ne consiste nullement, comme on a paru le croire, à supprimer, à l'imitation de certains établissements, ou tout au moins à amoindrir les études littéraires que M. Molinos considère pour sa part comme partie essentielle d'une bonne instruction, et qu'on ne peut éliminer sans abaisser le niveau de l'éducation. L'École Monge a au con-

traire la prétention d'enseigner les langues anciennes, tout aussi complétement que les lycées, mais plus vite et avec moins de perte de temps.

M. le Président remercie M. Molinos de sa communication, dont l'importance et la nature ont vivement intéressé la Société.

L'ordre du jour appelle la discussion sur l'analyse présentée par M. Dallot du rapport de M. Malézieux sur les travaux publics aux États-Unis et spécialement sur les constructions métalliques.

M. le Président invite M. Dallot à résumer succinctement les conclusions du rapport, en signalant les points sur lesquels il est le plus utile de provoquer la discussion.

M. Dallot rappelle à la Société que M. Malézieux a fait nettement ressortir ce qui distingue les procédés des constructions usitées en Amérique, et ceux qu'ont employés jusqu'ici la plupart des ingénieurs européens. Ces derniers se servent à peu près exclusivement de la rivure comme moyen d'assemblage, tandis qu'aux États-Unis on donne la préférence aux boulons. En France, dès le début, on s'est efforcé de faire, de toutes les parties d'un même ouvrage, un tout solidaire, quelque fût le nombre des travées; et ce principe a fini par triompher, dans les pays tels que l'Angleterre, où les praticiens l'avaient d'abord combattu. De l'autre côté de l'Atlantique on persiste à constituer chaque travée d'une façon indépendante de ses voisines.

M. Malézieux a exprimé l'opinion que les systèmes américains se prêtaient à un emploi plus rationnel et plus économique du métal, parce que dans leurs ouvrages la plupart des pièces subissaient exclusivement les efforts d'allongement, tandis que dans les nôtres le travail par voie de compression était bien plus fréquemment utilisé, et que, circonstance plus fâcheuse encore, ce mode de travail alternait souvent pour une même pièce avec la résistance à la traction.

M. Dallot croit avoir démontré dans son analyse, par des chiffres péremptoires, que les ponts des Américains, loin d'être plus économiques que les nôtres, absorbaient un plus grand poids de métal à conditions égales. D'après lui, les ponts assemblés au moyen de boulons sont moins rigides que les ponts rivés, vibrent davantage, coûtent plus cher à entretenir, donnent une sécurité bien moins grande et ont beaucoup moins de durée. Il a appuyé ses assertions de l'exemple du viaduc de Crumlin, exécuté par les frères Kennard, comptés parmi les plus habiles constructeurs de la Grande-Bretagne.

Quoi qu'il en soit, il est indispensable que ces questions, sur lesquelles nous pensions, depuis longtemps, l'opinion faite, soient définitivement discutées et résolues. Nous avons besoin de savoir, une fois pour toutes, si nous avons marché dans le bon chemin, sous la conduite des maîtres illustres qui ont créé et porté si haut l'art des constructions en métal, ou bien, comme l'administration des travaux publics l'a proclamé par la voix de ses membres les plus élevés dans la hiérarchie, si nous devons retourner à l'école aux États-Unis, pour y recueillir les préceptes de la science américaine.

M. Dallot considère la description des grands ponts suspendus, récemment construits aux États-Unis, comme un des points les plus intéressants du rapport de M. Malézieux. Il est certain que ces ouvrages, dont les portées n'ont pas encore été égalées en Europe, constituent des faits considérables, méritant d'être étudiés avec

le plus grand soin. Mais, là encore, M. Dallot ne voit pas des modèles à imiter. Sous le rapport du système de construction, MM. Molinos et Pronier ont tracé, depuis près de vingt ans, des règles qui paraissent définitives : la substitution aux câbles essentiellement déformables d'arcs rigides rendus solidaires avec un tablier rigide lui-même au moyen des barres disposées en treillis. Ces principes, qui n'ont encore reçu que des applications partielles et incomplètes, mais dont l'exactitude ne peut faire doute, sont bien supérieurs à ceux qui ont guidé les ingénieurs Américains. Ces derniers ont donné pour auxiliaires aux câbles des haubans, partant des sommets des piliers et aboutissant aux divers points de la longueur du tablier. Une telle disposition constitue un emploi peu rationnel du métal. Mais ce qui inspire de sérieuses et légitimes inquiétudes, c'est la méthode au moyen de laquelle est évalué l'effort subi par chaque pièce. Suivant M. Malézieux, l'ingénieur répartit arbitrairement entre les câbles et les divers haubans la charge à supporter. Puis il réalise cette répartition en donnant à chaque pièce la tension qui lui incombe d'après le projet, au moyen d'hommes agissant sur des tendeurs et exercés à avoir conscience de l'effort de leur bras. Jusqu'à quel point doit-on compter sur cette méthode d'une précision peut-être contestable, nous ne possédons pas en Europe les éléments nécessaires pour l'apprécier. Mais ce que nous sommes certainement fondés à dire, c'est que le réglage d'une tige suffit pour modifier les tensions des tiges déjà réglées, et qu'en tout cas le moindre changement de température modifie profondément l'équilibre du système tout entier.

M. Dallot juge donc probable que lorsque les ingénieurs européens se trouveront dans le cas de franchir de très-grandes portées en se servant du principe si rationnel de la suspension, ils n'emprunteront à leurs confrères d'Amérique ni leurs systèmes de construction, ni leurs méthodes de calcul.

M. Faliès demande si les ponts suspendus américains permettent le passage des trains à une vitesse suffisante et sans des déformations trop considérables, de manière à se prêter à l'exploitation telle qu'elle a lieu en Europe.

M. Dallot indique le chiffre de 8 kilomètres à l'heure pour la vitesse des trains; mais quant aux déformations, il faudrait connaître le chiffre des dépenses d'entretien sur lesquelles on a fort peu de renseignements, mais qui paraissent devoir être considérables.

Quant à la question des assemblages par boulons avec articulation, il rappelle un exemple qu'il a déjà cité et qui lui paraît concluant. Le viaduc de Crumlin, en Angleterre, construit dans le système Warren, c'est-à-dire avec des triangles articulés, a dû, au bout de peu d'années, être entièrement refait et ses assemblages remplacés par des assemblages rivés.

M. E. Roy est à même de citer un fait, dont il a été témoin, et qui vient à l'appui de l'exemple cité par M. Dallot.

Il s'agit d'un grand viaduc de 80 mètres de hauteur, construit au Pérou; cet ouvrage avait été projeté par des ingénieurs américains, avec piles en fer et poutres armées à assemblages articulés; ce projet a été abandonné et remplacé par un pont à fermes rigides, exécuté par M. Eiffel, membre de la Société; l'adoption de ce type de préférence au premier est une reconnaissance de sa supériorité, qui a d'ailleurs été confirmée par une économie notable sur les frais d'établissement.

M. E. Roy tient à rappeler qu'on a cherché depuis longtemps, en France, à augmenter la rigidité des ponts suspendus; MM. Cadiat et Oudry avaient, dès 1852,

construit à Castelfranc sur le Lot un pont suspendu de 110 mètres de portée, avec des haubans en treillis qui répartissent les charges en mouvement sur le tablier, sur une grande longueur de câble; de plus le tablier lui-même forme treillis et les câbles sont disposés en plan, avec un écartement de manière à empêcher le balancement du tablier. Ce pont et celui de Capdenac, établi dans le même système, ont parfaitement réussi, le mouvement transversal et les oscillations du tablier y sont très-notablement atténués.

M. Lavalley, traitant d'abord la question des ponts suspendus, rappelle que ces ponts ont été autrefois très en faveur en France; à la suite d'accidents dont quelques-uns ont eu un grand retentissement, à cette faveur a succédé une réaction peut-être exagérée; on les a à peu près complétement abandonnés, bien qu'ils puissent être considérés comme une solution satisfaisante pour de petites charges.

On a surtout eu en France le tort de les faire trop légers, c'est dans ce but qu'on employait les câbles en fil de fer qui, outre la difficulté de leur bonne construction, présentent l'immense inconvénient d'être sujets à une oxydation très-active. Les Anglais et les Américains ont, à juste titre, préféré l'emploi de chaînes formées de maillons en fer avec des boulons d'articulation, bien que ces chaînes fussent beaucoup plus lourdes; c'est ce poids même qui leur permet de résister dans certains cas; ainsi le pont de Menai, établi par l'illustre Telford, a eu plusieurs fois son tablier enlevé par des ouragans, sans que l'appareil de suspension ait souffert.

Quant aux systèmes de suspensions américaines qui consistent à combiner des haubans et des poutres droites, M. Lavalley est d'avis, comme M. Dallot, qu'il n'existe aucun moyen d'y appliquer le calcul d'une manière à peu près convenable; c'est donc une solution où le plus grand rôle est laissé au hasard, et où le constructeur ne peut mettre de son côté toutes les chances de succès, qu'à condition de prodiguer aveuglément la matière ; une solution de ce genre ne peut dès lors être considérée comme satisfaisante par des ingénieurs.

La préférence à donner aux assemblages par rivets sur les assemblages articulés ou à boulons ne semble pas pouvoir être mise en question. L'assemblage par rivets a le grand avantage d'éviter le travail de la forge et les soudures, ces dernières présentant toujours, malgré toutes les précautions, des chances de mécomptes que les ingénieurs se préoccupent d'écarter; on peut citer l'exemple des fermes Polonceau, où on s'attache à remplacer, autant que possible, les soudures par des assemblages filetés.

En second lieu, l'assemblage par rivets a pour effet, comme il est facile de s'en rendre compte, de faire combattre l'effort de traction par exemple qui tend à rompre l'assemblage, à la fois par la résistance à la rupture de la pièce sur laquelle se fait la traction et par la résistance au cisaillement des rivets, qui se trouvent en deçà de la ligne supposée de rupture. Les rivets sont posés à chaud et la contraction déterminée par le refroidissement produit entre les tôles réunies un serrage énergique qui joue un rôle important, et dont on tient grand compte dans le calcul des assemblages.

On doit admettre qu'un assemblage de pièces réunies par des rivets est absolument équivalent à une construction, qui serait d'un seul morceau de métal. C'est grâce à la perfection des méthodes de calculs et des dispositions de construction qu'on est arrivé à faire, en France, des ouvrages dont la légèreté n'a été dépassée nulle part. M. Lavalley en conclut que les systèmes américains sont loin d'être à

recommander; leur adoption ferait reculer la science, et conduirait inévitablement à de grands mécomptes.

En France, pour les ponts à plusieurs travées, on fait les poutres continues, tandis que les Anglais et les Américains préfèrent les travées indépendantes. Les motifs de cette préférence paraissent être, d'une part, la crainte des tassements inégaux dans les appuis, et en second lieu, ce fait que dans les régions voisines des points d'inflexion, le métal passe alternativement de l'état de compression à l'état de tension. L'importance de ces objections est très-exagérée ; d'abord on peut toujours se ménager des moyens de relèvement en cas de tassement des appuis; quant à la seconde objection, le mode même employé pour la détermination des sections du métal offre toute garantie; on sait que dans les points où les efforts changent de sens, et où par conséquent la courbe représentative de ces efforts passe par zéro, on a soin d'envelopper la courbe de très-loin, de sorte que le travail auquel le métal est soumis dans ces régions est très-réduit par unité de section, dès lors le changement de nature des efforts est sans importance. Il en résulte que les bénéfices de la continuité des travées sont nets; c'est une économie considérable de métal, outre la possibilité pour de grandes travées de réduire notablement l'épaisseur des tables horizontales, épaisseur qui est énorme dans les travées indépendantes, et d'assurer par la réduction du nombre des tôles à réunir la bonne exécution et l'efficacité du rivetage.

Comme conclusion, M. Lavalley est obligé de constater que nous sommes en désaccord absolu avec les ingénieurs américains, sur la plupart des questions théoriques, qui touchent à la construction des ponts métalliques.

M. de Dion insiste sur la manière défavorable dont se transmettent les forces dans un assemblage fait par un boulon. Si la barre assemblée est soumise à la traction, la tension, qui dans la longueur de la barre est répartie sur toute sa section et produit en chaque point un allongement uniforme, est obligée, en arrivant à l'assemblage, de se transporter latéralement des deux côtés de l'œil traversé par le boulon. Cet effet ne peut se produire que par des tensions intérieures obliques qui augmentent d'autant l'effort auquel est soumis le métal. Il se passe quelque chose d'analogue à ce que M. Vicat a observé en comprimant une sphère entre deux plans : la compression doit se transmettre des surfaces comprimées aux sections circulaires transversales de la sphère. Avant que la rupture n'ait lieu, la matière est pulvérisée suivant deux cônes, ayant pour base les surfaces circulaires comprimées, et dont les sommets sont dirigés vers le centre de la sphère.

M. de Dion présente ensuite quelques considérations théoriques sur le calcul des ponts suspendus, en tenant compte de la résistance que peuvent apporter, par leur rigidité, le tablier, la chaîne et les tympans.

Il examine le cas d'une chaîne flexible et d'un tablier rigide; il démontre que pour une chaîne flexible et un tablier flexible, les ordonnées de la courbe suivie par la chaîne sont proportionnelles aux moments fléchissants d'une poutre droite, chargée comme le pont suspendu. Mais si le tablier est rigide, la chaîne flexible conserve la même forme, et alors les différences entre les ordonnées de la courbe des tensions et de la courbe de la chaîne sont proportionnelles aux moments fléchissants qui se produisent dans le tablier.

Si le tablier et la chaîne sont tous les deux rigides, ces moments fléchissants se répartissent entre le tablier et la chaîne.

Si le tablier et la chaîne sont réunis par des tympans rigides, ces moments fléchissants se produisent sur toute la hauteur de la section.

Dans ces deux derniers cas principalement, les conditions du montage et les effets des variations de température mettent dans le problème une indétermination qui ne peut être levée que par le calcul des déformations.

Cette communication qui exige des figures, pour sa complète exposition fera l'objet d'une note qui sera publiée dans les Bulletins de la Société.

M. Richard demande qu'on insère au procès-verbal les renseignements sur l'état d'avancement du percement du Saint-Gothard, donnés par M. Ribourt.

Ces renseignements sont les suivants :

Petite galerie d'avancement.

1875.	GOESCHENEN.	AIROLO.	TOTAL DU MOIS.
	m.	m.	m.
Janvier	92.60	101.40	194.00
Février	83.10	101.00	184.10
Mars	92.40	86.75	179.15
Avril	99.00	129.20	228.20

Au 1er mai les longueurs de la petite galerie, en partant de l'embouchure, étaient de :

A Goeschenen 2,004m.40; à Airolo 1,761m.75. Total. 3,766m.15,

A Goeschenen le massif granitique vient d'être traversé, le mardi 27 avril, à la profondeur de 1,992m.60, on a rencontré une couche tendre de schistes chloriteux derrière laquelle se trouvait les schistes micacés. Il en est résulté immédiatement qu'au lieu de mettre six et sept heures pour perforer 20 trous de 1m.20 de profondeur, on ne met que trois heures en moyenne, pour perforer 18 trous de la même profondeur. De plus, le départ des mines va jusqu'au fond des trous, ce qui n'avait pas lieu dans le granit gneiss.

L'avancement de ces derniers jours est (à Goeschenen) de 3m.80, 4m.20 et 4m.80 pour chaque journée.

A Airolo, l'eau est restée en arrière de l'avancement, depuis le mois de février seulement, vers 1,400 mètres de l'embouchure; l'on traverse toujours les schistes micacés. Dans la semaine du 19 au 26 avril, cette attaque a fait le maximum d'avancement que l'on ait encore atteint; 40m.05 en 7 jours soit, en 24 heures, 5m.72 en moyenne. Ce résultat dû à la rencontre de roches un peu plus tendres est surtout important au point de vue de l'enlèvement rapide du déblai, dans une galerie qui a 2m.10 de hauteur sur 2m.90 de largeur.

Les attaques mécaniques du reste de l'excavation, quoique encore incomplétement organisées, atteignent déjà des résultats satisfaisants. La cuvette du strose qui, après l'avancement, est la plus importante attaque, atteint déjà entre 80 et 90 mètres dans chaque mois. La maçonnerie de la voûte avance en proportion; le mois d'avril a donné à Goeschenen 108 mètres, et à Airolo 93 mètres de voûte.

Il n'y a aucune inquiétude à avoir sur le résultat définitif de l'entreprise. Cependant il est bon de prouver, par les résultats analogues, constants, que nous obtiendrons

encore, l'excellence de la méthode employée par M. Favre, pour la grande œuvre qu'il a entreprise.

MM. Benoit, Courtois, Desjardins, Fleury, Lockert et Mors ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 4 Juin 1875.

Présidence de M. de Dion, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à huit heures et demie du soir.

A propos du procès-verbal de la séance du 21 mai, qui est adopté, M. Brull regrette de n'avoir pas assisté à la communication qui a été faite par M. Molinos sur l'École Monge ; il apporte son témoignage sur les bons effets produits par le système qui s'y trouve appliqué. L'instruction a une supériorité évidente ; les élèves prennent goût à leur travail et arrivent rapidement à des résultats remarquables.

M. de Dion présente à la Société le premier fascicule des *Annales agronomiques*, publiées sous les auspices du Ministre de l'Agriculture, par M. P.-P. Dehérain, professeur à l'École de Grignon. L'importance de ce recueil, qui réunit les travaux émanant des stations agronomiques, n'échappera pas aux ingénieurs qui s'occupent de questions agricoles, notamment à ceux qui dirigent les fabriques de sucre.

M. Richard rend compte de l'ouvrage de M. Molinos sur la *navigation intérieure de la France*. Vu l'importance de cette analyse et l'intérêt qui s'y rattache, elle sera imprimée *in extenso* dans le Bulletin trimestriel.

La parole est donnée à M. A. Crespin pour sa communication sur la télégraphie pneumatique à grandes distances.

M. Crespin indique que la télégraphie pneumatique, dont l'origine remonte à une période déjà fort ancienne, a depuis vingt ans seulement reçu de nombreuses applications pratiques, dont les premières ont été exécutées à Londres par Latimer Clarke. Cette ville possède aujourd'hui la plus complète installation en ce genre. Le trafic extraordinairement important de cette place commerciale réclamait des dispositions toutes spéciales, qui ont été réalisées avec le plus grand succès par les ingénieurs du post-office, MM. Culley et Sabine.

Après Londres, Berlin, Paris, Vienne ont successivement adopté le nouveau système et établi pour leur service de dépêches intérieures des réseaux de tubes analogues.

La faveur qui a accueilli ce mode de transmission, qui sous le rapport de la rapidité n'a aucune prétention à lutter avec l'électricité, provient uniquement des conditions spéciales qui se rencontrent dans la majorité des grandes villes, à

savoir que le service télégraphique doit y transporter un nombre considérable de dépêches à des distances généralement très-réduites. Dans ces conditions, l'électricité est dépassée en vitesse par des agents dont le mode d'action est beaucoup moins instantané, mais dont la capacité de transmission est singulièrement plus étendue.

Pour expliquer cette démonstration un peu abstraite, je prendrai pour exemple un fil télégraphique ayant à transmettre un certain nombre de dépêches à 1,000 mètres seulement de distance, et je lui comparerai un tube pneumatique faisant un service analogue. Le fil euverra successivement les dépêches, et il ne pourra pas en envoyer plus de quarante à l'heure; il nécessitera un employé à chaque extrémité. Le tube franchira l'espace en une minute et y transportera facilement cent dépêches ; ces dépêches pourront en outre être manuscrites, être secrètes, et l'appareil n'étant intéressé que par le volume et par le poids de ces dépêches, quelque soit le nombre de mots inscrits sur la dépêche, la transmission sera aussi rapide et n'exigera que deux employés. L'exemple ci-dessus montre un cas où le tube pneumatique présente de la manière la plus indiscutable un avantage sur le fil électrique; le raisonnement indique que cet avantage diminue à mesure que le nombre des dépêches à transmettre diminue, et diminue également à mesure que la distance qui sépare les deux points augmente. Il arrive donc un moment où le fil reprend tous ses avantages : c'est lorsqu'il peut transmettre toutes les dépêches dans un temps plus court que celui demandé par le tube pour les transporter.

Ce mode de distribution et de collection des dépêches dans les grandes villes donne, partout où le trafic est extrêmement important, d'excellents résultats; les installations établies dans ces villes varient de forme suivant le mode d'exploitation, mais le principe est toujours le même et se résume à ceci. Un tube aussi bien calibré que possible réunit les deux points entre lesquels on veut correspondre : une ou plusieurs boîtes contenant les messages sont introduites dans ce tube par un appareil dont les organes essentiels sont toujours les mêmes, à savoir : une fermeture du tube en arrière, et une tubulure amenant, entre l'extrémité de ce tube et le train fermé, un courant d'air comprimé déterminant derrière le train une pression H, plus considérable que la pression atmosphérique h qui s'exerce à l'autre extrémité; c'est sous cette différence de pression $H-h$ que le train s'avance dans la ligne en s'éloignant du point où l'air comprimé est introduit dans la ligne.

Veut-on faire revenir le message, le même point est mis en communication avec un réservoir où la pression est moindre que la pression atmosphérique h qui s'exerce à l'autre extrémité. $H-h$ est négatif et le train mis à l'extrémité de la ligne s'élance vers son origine et y parvient au bout d'un certain temps. L'appel d'air est alors suspendu par la simple fermeture du robinet, et une porte analogue à celle qui a servi à l'expédition sert à retirer le train du tube.

Une communication électrique permet aux employés placés aux extrémités des tubes de contrôler et de diriger toutes leurs manœuvres.

Les moyens de comprimer l'air et de faire le vide peuvent être tous les moyens connus pour ce genre de travail. Il semble toutefois qu'après différents essais, les machines à vapeur actionnant directement des pompes à air, ayant donné les services les plus réguliers, ont été pour ainsi dire universellement adoptées dans toutes les villes possédant des télégraphes pneumatiques.

Quant au mode d'exploitation, suivant l'importance des trafics, il se fait par

réseaux circulaires exploités d'une manière continue ou d'une manière alternative, ou par système rayonnant exploité de la même manière. Dans les deux cas, la pression est utilisée pour chasser les trains, le vide pour les attirer. Le système rayonnant semble être celui qui a été installé dès le début, comme le plus simple, et il est maintenu là où il y a un trafic extrêmement important, comme rendant les services les plus directs. La plus grande installation en ce genre est celle de Londres, où des dispositions spéciales sont prévues pour que les tubes soient traversés par un courant d'air continu, dans lesquels, au moyen de sortes d'écluses, on introduit les boîtes à expédier, et l'on retire au fur et à mesure de leur arrivée celles que l'on est chargé de recevoir. Une des premières installations proposées pour Paris, en 1860, par M. Antoine Kieffer, était disposée d'une manière analogue (brochure de M. Amédée Sebillot). En 1866, au moment de l'établissement des premières lignes pneumatiques de Paris, ce système ne prévalut pas, et les premières constructions en ce genre, exécutées à Paris par MM. Mignon et Rouart, furent faites en adoptant le tracé par réseaux, et exploitées par des courants intermittents réguliers de dépêches, mode d'exploitation plus économique que le premier, tout en étant un peu moins rapide.

Après cette description succincte, je vais aborder la question qui fait l'objet de la communication.

Je poserai en premier lieu la question suivante :

Quelles sont les lois régissant approximativement le mouvement des boîtes dans les tubes pneumatiques?

L'expérience a démontré que la présence ou l'absence du train dans un tube modifiait peu le régime d'écoulement de l'air dans certaines conditions déterminées à travers ce tube, que l'écoulement de l'air avait lieu dans des conditions presque identiques à celles des autres fluides, et que les lois observées dans les écoulements de ces fluides pouvaient sans trop d'erreur être appliquées à ce cas particulier.

En appelant R la résistance au mouvement, l la longueur, x le périmètre, u la vitesse, A et B deux coefficients, la formule approximative de l'écoulement des fluides est :

$$R = lx(Au + Bu^2);$$

en négligeant le terme où la vitesse est au premier degré, la formule devient :

$$R = Blxu^2.$$

La force qui tend à faire mouvoir les boîtes étant égale à la différence de pression $(H - h)$ multipliée par la section S, sur laquelle elle s'appuie, la formule du mouvement sera donc approximativement :

$$(H - h)\,S = Blxu^2),$$

qui, dans le cas où la section est un cercle, devient

$$H - h = \frac{nlv^2}{D} \text{ ou } v = A\sqrt{\frac{(H-h)\,D}{l}};$$

formule que de nombreuses expériences ont démontrée sensiblement vraie pour les conditions dans lesquelles sont ordinairement établis et exploités les tubes pneumatiques, et qui montre que la vitesse varie comme les racines de toutes les conditions d'établissement : directement pour la pression et le diamètre, inversement pour la longueur.

Notre étude devant porter sur la recherche des moyens à employer pour faire une ligne de longueur l aussi grande que possible, nous allons examiner successivement

l'influence de chacune des forces ou dimensions agissant sur la vitesse dans ces conditions.

La première chose à examiner est évidemment la pression ou plutôt la différence de pression motrice (H — *h*). La formule ci-dessus montre que si l'on augmentait dans la même proportion H — *h* et *l*, l'on obtiendrait une vitesse constante. Malheureusement cette solution simple est impossible : car les moyens pratiques que nous avons à notre disposition ne nous permettent pas de comprimer l'air à un prix de revient suffisamment bas, au delà d'une certaine limite, qui est d'une atmosphère effective environ, deux atmosphères au plus. Le prix de revient (vu le grand débit dont on a besoin) est si considérable, que, si l'on adoptait un mode d'exploitation semblable, en supposant que l'on ne rencontre pas d'obstacles dus à l'élévation de la température ou à l'humidité de l'air, il serait impossible d'organiser un service rémunérateur. La limite serait du reste vite atteinte, car, même par ces procédés coûteux, l'on ne peut que fort difficilement dépasser les pressions de 5 à 6 atmosphères. De même, pour le vide, il ne faut pas en exploitation courante compter sur un vide dépassant notablement 50 centimètres de mercure. En résumé, une ligne pneumatique, pour être dans des conditions d'exploitation économique, ne doit pas réclamer de l'air en pression à plus de 2 atmosphères au maximum, et du vide de plus de 55 centimètres de mercure.

Le second point à discuter est celui du diamètre. Pour celui-là il est certain que matériellement il est possible de l'augmenter considérablement ; la formule indique que, si on l'augmente dans la même proportion que la longueur, l'on obtiendra une vitesse constante ; l'expérience confirme ce résultat d'une manière avantageuse au point de vue de la vitesse, et l'on trouve généralement des vitesses plus considérables que ne l'indiquerait la formule. Malheureusement ce moyen serait par trop onéreux à appliquer : il conduirait à placer des tubes très-gros entre des points très-éloignés, alors même que le trafic entre ces points serait très-petit. Or, le prix d'installation d'une ligne pneumatique croît extrêmement vite avec le diamètre, beaucoup plus vite que le diamètre, et le prix d'exploitation croît plus vite que le *carré* du diamètre, puisqu'il ne faut pas perdre de vue que cette exploitation se fait en emplissant ou en vidant des tubes, dont la capacité croît comme le carré du diamètre. Il résulte des considérations ci-dessus que, dans l'établissement d'une ligne pneumatique, la seule considération qui doive guider dans le calcul du diamètre à leur donner est celle du trafic à créer, et nous allons voir par la suite que pour créer un trafic extraordinairement important il n'est pas nécessaire de dépasser des sections qui, au premier abord, semblent extrêmement réduites.

Lorsque l'on visite des installations de cette nature, l'on est étonné du petit diamètre adopté généralement pour ces tubes : ainsi, dans la colossale installation anglaise de Saint-Martin-le-Grand, le diamètre adopté pour ainsi dire uniformément est 2 pouces 1/4, soit 57 millimètres. Deux lignes seulement, extrêmement importantes et sur lesquelles des canalisations d'aller et retour ont été établies, ont été faites en 3 pouces de diamètre, soit 76 millimètres. Le débit d'air de ces tubes est le double des premiers, aussi les ingénieurs anglais en ont-ils réduit l'emploi autant que possible.

Quel est le motif d'une dimension qui au premier abord semble si restreinte ? Nous allons le trouver dans les conditions d'installation de la ligne même. La dépêche télégraphique ou la lettre pneumatique est toujours très-limitée dans son volume et dans son poids, la consommation journalière d'une population d'un ou deux millions

d'habitants en produit de ce genre représente un volume et un poids peu considérables; et, avec la vitesse relativement importante avec laquelle les tubes emportent ce produit, il est à première vue bien facile de se convaincre qu'ils n'ont pas besoin pour y parvenir de dimensions bien considérables.

Comparons ces tuyaux aux autres tuyaux qu'on rencontre dans le sous-sol des grandes villes, aux tuyaux d'eau et de gaz, produits que l'on distribue aux habitants à raison de cent litres environ par jour et par tête, dans les villes bien alimentées. Pour y arriver l'on emploie des tuyaux qui ont un mètre de diamètre dans les grosses artères, et au-dessous dans les autres, la vitesse de circulation y est au maximum d'un mètre par seconde. Pour le produit qui nous occupe la consommation n'est certainement pas de un gramme par habitant, c'est-à-dire cent mille fois moindre, et nous marchons au minimum dix fois plus vite dans les tuyaux : avec une section $\frac{1}{1\,000\,000}$, nous serions donc dans des conditions presque analogues.

Si nous appliquons des chiffres à Paris, nous y trouvons une circulation moyenne de 10 000 dépêches par jour à 5 grammes, soit 50 kilogrammes, qui, rangées dans les boîtes voyageant dans les tubes à raison de 25 par boîte, exigent 400 boîtes, soit 40 boîtes à l'heure, pouvant facilement être transportées en quatre trains espacés de quart d'heure en quart d'heure, alors que l'on pourrait évidemment y organiser des trains beaucoup plus fréquents en se munissant, bien entendu, du matériel nécessaire pour produire l'air comprimé et le vide dont on aurait besoin.

Les tubes employés à Paris ont 65 millimètres de diamètre, et suffiraient certainement au trafic de 50 000 dépêches par jour, si le besoin d'un trafic aussi important était atteint.

Dans l'état actuel de la question, il semble évident que, même en admettant un service postal déjà très-développé, le diamètre d'un tube pneumatique ne devra jamais dépasser dix centimètres : dans ces conditions, il est à la limite du prix de revient possible; au-dessus, il coûte plus cher qu'une voie de chemin de fer, et s'il est desservi par des machines suffisantes, il peut transmettre jusqu'à cent boîtes à l'heure, représentant presque cent kilogrammes de dépêches qui, divisées en lettres de 20 grammes chaque, feraient encore 5,000 correspondances à l'heure.

L'on voit qu'un trafic de cette nature dépasserait d'une manière suffisamment importante la limite de tous les besoins possibles à l'heure actuelle.

Nous venons de voir, par l'étude ci-dessus de la pression et du diamètre, que ces deux éléments de fonctionnement, d'installation et d'exploitation d'un tube pneumatique ne pouvaient pas dépasser pratiquement certaines limites; nous allons examiner maintenant l'influence de la longueur elle-même. Nous rappelons ici que tous les avantages du télégraphe pneumatique se résument à compenser par sa capacité sa lenteur relative de transmission, si on le compare à l'électricité. Il est donc nécessaire, si l'on veut aller loin, d'aller très-vite. Nous venons de voir dans quelle limite on peut compter sur les augmentations de pression et de diamètre, et il résulte de cet examen qu'il faut chercher autre part la solution du problème.

Les premières recherches à ce sujet datent de 1857. Elles ont été faites par M. Latimer Clarke, qui posait la question de la nécessité d'une disposition mécanique permettant d'exploiter des lignes d'une longueur relativement grande, en y interposant des sortes d'évents qu'un mécanisme spécial fermerait au moment du passage des trains lorsque ces trains parcourraient la ligne par pression, et ouvri-

rait lorsque ces lignes seraient parcourues par des trains sollicités par le vide à l'autre extrémité.

L'avantage d'une combinaison de ce genre était indiscutable, et nous trouvons dans le journal *l'Engineering*, année 1869, la description d'un appareil présenté par M. Sabine, ingénieur au Post-Office, et qui présente une solution satisfaisante du problème.

M. Sabine a supposé une ligne comme les principales lignes de Londres, rayonnant du Post-Office et desservant un point plus ou moins éloigné par des trains alternativement chassés par la pression du Central, et ensuite appelés par le vide du Central de son extrémité au Central.

Il consiste en une valve commandée, par l'intermédiaire d'un balancier, par une sorte de grand diaphragme en cuir ou en caoutchouc, sur lequel agit par un tube spécial le vide ou la pression du poste central, suivant que ce poste envoie ou aspire un train. Ce diaphragme, suivant les deux cas, ouvre la valve, ce qui est le cas de l'envoi par pression, et alors l'air en s'échappant par cet évent permet au train de franchir la première section, comme si la ligne n'avait que la longueur de l'origine à l'évent. Au moment où le train franchit l'évent, il détache la valve du balancier qui la relie au diaphragme; sous l'action d'un ressort, cette valve se ferme, et le train se met en marche dans la seconde section avec la vitesse d'une ligne qui aurait la longueur des deux premières sections, et ainsi de suite.

Le Central aspire-t-il un train, l'appareil se conduit de la manière suivante : sous l'action du vide agissant sur les diaphragmes par la canalisation spéciale, toutes les valves sont fermées; la ligne peut donc se vider d'air en amont du train, et le train, en franchissant successivement toutes les valves et en agissant sur les verrous, ayant rendu ces valves indépendantes de leur commande, détermine derrière le train des rentrées d'air de section en section, donnant les mêmes avantages que dans le cas de l'envoi par pression.

Le tableau ci-dessous donne la mesure des avantages que procure l'emploi de cet appareil; on a supposé une ligne de dix sections.

NUMÉROS des sections.	TEMPS DE PASSAGE dans chaque section.		TEMPS TOTAL DU VOYAGE. Avec valves.	TEMPS TOTAL DU VOYAGE. Sans valves.		RAPPORT des deux temps.
1	1		1	1		
2	$\sqrt{2}$	1,41	2,41	$2\sqrt{2}$	2,82	17,0
3	$\sqrt{3}$	1,73	4,14	$3\sqrt{3}$	5,19	25,4
4	$\sqrt{4}$	2,00	6,14	$4\sqrt{4}$	8,00	30,3
5	$\sqrt{5}$	2,24	8,38	$5\sqrt{5}$	11,20	33,7
6	$\sqrt{6}$	2,45	10,83	$6\sqrt{6}$	14,70	35,7
7	$\sqrt{7}$	2,65	13,48	$7\sqrt{7}$	18,55	37,6
8	$\sqrt{8}$	2,88	16,31	$8\sqrt{8}$	22,64	38,8
9	$\sqrt{9}$	3,00	19,31	$9\sqrt{9}$	27,00	39,8
10	$\sqrt{10}$	3,16	22,47	$10\sqrt{10}$	31,60	40,6

Par l'inspection du tableau, l'on voit que l'avantage va toujours en augmentant à

mesure que la ligne s'allonge; cet avantage, qui est de 17 pour 100 pour une ligne de deux sections qui n'aurait qu'un de ces appareils, au milieu, s'élève à 40 pour 100 pour une ligne de dix sections qui aurait neuf de ces appareils disposés sur son parcours.

Le remède toutefois est loin d'être radical, car s'il permet d'allonger les lignes pneumatiques, il limite cette extension, et le même tableau qui nous fait voir l'avantage de l'appareil nous montre très-clairement la limite de cette extension. Nous voyons, en effet, que la dixième section, même avec le perfectionnement, demande 3,16 plus de temps pour être franchie que la première, et qu'en répartissant tous les avantages, le temps moyen est de 22,47 au lieu de 10, temps nécessaire pour parcourir les sections si on les eût parcourues avec la même vitesse que la première. La vitesse moyenne après les parcours de la dixième section est moins que la moitié, le temps est près de trois fois ce qu'il eût dû être.

La solution du problème de la ligne en longueur illimitée à vitesse constante réclamait un appareil plus complet; c'est cet appareil que nous allons décrire aujourd'hui, nous l'avons appelé relai; cet appareil a pour mission de remplacer de la manière la plus complète et la plus exacte un opérateur qui, placé dans des conditions que nous allons décrire, aurait à exécuter les fonctions suivantes.

La ligne pneumatique de grande longueur a été, comme les lignes qui desservent les villes, divisée en sections d'environ mille mètres; chacune de ces sections est munie, à son origine, de réservoirs dans lesquels de l'air comprimé est emmagasiné: cet air ayant la pression et le volume suffisant pour desservir la section. La situation est exactement la même que celle où l'on se trouverait dans un bureau intermédiaire de ville où l'on dispose d'air comprimé: les deux lignes, la ligne d'arrivée et celle de départ, sont raccordées dans le même alignement, de telle sorte qu'un train reçu par la première pénètre de lui-même dans la seconde. L'opérateur dont nous suivons les opérations aurait dans ce cas à attendre le train qui lui est expédié en laissant l'échappement se faire librement par l'extrémité de la section. Au moment où le train franchit l'intervalle qui sépare la ligne d'arrivée de celle de départ, il ferme derrière lui celle de départ et ouvre un robinet communiquant avec le réservoir d'air comprimé avec lequel il le chasse dans la ligne suivante, et il maintient ce robinet ouvert tout le temps du parcours et le ferme lorsqu'il est prévenu de l'arrivée par l'employé suivant.

Ce sont ces opérations multiples que devait remplir automatiquement le relai. Le premier appareil essayé, et donnant quelques résultats, l'a été en 1873, au mois de mai. Les essais ont été faits à Paris, sur la ligne directe du Central à la Bourse, et à Londres dans la salle des machines de Telegraph-street.

A Paris, l'appareil était placé sous une plaque en fonte et relié par une canalisation spéciale avec les réservoirs d'air comprimé du poste du Théâtre-Français.

Cet appareil remplissait très-exactement toutes les fonctions énumérées ci-dessus et accomplies par l'employé que nous avons supposé dans un poste intermédiaire. L'échappement d'air se faisait à l'avant du relai par une partie de tube perforée en tous sens et donnant à l'air un passage égal à deux fois la section de la ligne. La fermeture de la ligne derrière le train et la communication avec les réservoirs d'air étaient commandées par une sorte de détente sur laquelle le train agissait aussitôt qu'il avait franchi le relai. La durée du soufflage était mesurée par un piston s'élevant dans un cylindre par l'effet de la pression intérieure; la loi de cette ascension étant réglée par la contrepression et réglée de telle sorte, que le soufflage dure

plus longtemps que le temps voulu. Au moment où le train parvient à destination ou entre dans la section suivante, la pression se perdant dans la ligne, le poids du piston régulateur le faisait redescendre et tout remettre en place pour attendre un train suivant.

Le succès de cet appareil a été complet, il permit d'échanger un certain nombre de trains entre le Central et la Bourse avec une économie de temps de plus de moitié. Le retour était également rapide, car les trains étaient envoyés par pression jusqu'à l'appareil, l'échappement se faisant par la partie perforée, et aspirés du Central le reste du chemin : ce qui divisait encore la colonne d'air pour le retour.

Le reproche fait à cet appareil était sa susceptibilité; il renferme dans son intérieur une pièce délicate; cette pièce est la valve chargée de fermer la ligne et, si un corps étranger s'oppose même partiellement à son fonctionnement, le relai ne devient plus qu'un obstacle s'opposant de la manière la plus complète à la marche des trains.

Pour remédier à cet état de choses, il fallait supprimer cette valve qui, après la description que nous venons de faire, semble être la pièce principale de l'appareil, puisque c'est elle qui sépare l'échappement de l'admission. Elle ne pouvait être supprimée qu'à condition de supprimer l'échappement, et l'échappement ne pouvait être supprimé qu'à la condition de supprimer la contrepression. C'est cette suite d'observations qui nous a conduit à l'étude du projet que je présente aujourd'hui et qui résout complétement le problème. La ligne est à double effet; au moyen d'appareils spéciaux qui sont également des relais, elle est constamment entretenue vide d'air, et, par suite, plus de contrepression, plus de valves dans les relais de pression.

La ligne, que nous supposerons de longueur illimitée, est escortée de deux canalisations secondaires réunissant des réservoirs de vide et de pression chargés d'alimenter les relais placés sur la ligne aux endroits convenables. Ces relais sont de deux natures. Ceux qui sont chargés de vider d'air la ligne sont espacés de cinq en cinq kilomètres dans le cas où la ligne serait parcourue par trains espacés de quart d'heure en quart d'heure. La raison de cet écartement est que l'épuisement de la ligne se poursuivant toujours, il est nécessaire d'un temps un peu moindre pour épuiser 5 kilomètres, et par suite il n'est pas nécessaire de rapprocher davantage ces appareils. Ils sont, du reste, extrêmement simples : un piston s'élevant dans un cylindre entraîne avec lui une valve fermant la ligne et un tiroir ouvrant la communication avec les réservoirs de vide. Le piston est élevé dans le cylindre au passage d'un train par l'action de la contrepression qui suit le train ; il ferme la ligne derrière lui, et commence immédiatement l'épuisement de la section que le train vient de parcourir. La valve que porte ce relai n'a aucun des inconvénients que comportait celle contenue dans le premier relai de pression, attendu qu'elle se rouvre d'elle-même après que l'épuisement de la section que dessert le relai de vide est terminée; opération qui généralement est faite dans la moitié du temps prévu, séparant le passage de deux trains. De plus, comme ces appareils sont espacés de 5 en 5 kilomètres et que la moitié au moins sont dans des établissements fabriquant l'air comprimé et le vide, ils sont surveillés par des agents.

Les relais de pression espacés de kilomètre en kilomètre deviennent de simples souffleurs s'ouvrant au passage du train et soufflant pendant tout le temps que le train parcourt leur section; ils ne sont plus composés que d'un piston portant un contrepoids, actionnant un tiroir qui est le tiroir de pression et du piston régulateur qui

suspend l'admission après que le soufflage a duré le temps convenable; l'air pénètre dans la ligne par une sorte de lanterne découvrant des orifices ayant deux fois la section de la ligne, et la commande du soufflage est donnée par le train lui-même qui, en agissant sur une détente, fait tomber un contrepoids placé sur le piston commandant le tiroir. Le soufflage est instantané, il est suspendu par l'action du piston régulateur qui ferme la communication conduisant à la ligne et emprisonne de l'air comprimé dans une petite chambre placée entre cette fermeture et le tiroir. L'effet de cet air comprimé au moment où la pression se perd dans la ligue, c'est-à-dire au moment où le train a franchi la section, est de soulever le piston actionnant le tiroir et de remettre tout en place pour l'attente du train suivant. Cet appareil, qui est l'âme du nouveau système, est extrêmement simple et n'a besoin d'aucune surveillance pour son fonctionnement. Il est accompagné d'un réservoir d'air comprimé capable de desservir la section.

Je n'entrerai pas ici dans le détail des procédés pour amener l'air comprimé et le vide dans les réservoirs desservant les relais; ces procédés peuvent être tous ceux connus pour ce genre de travail, et l'on prendra toujours les dispositions les plus économiques. Dans les pays très-peuplés on pourra multiplier les usines et les faire peu importantes. Dans les pays peu habités on pourra les espacer de 20 ou 25 kilomètres, et les faire alors plus considérables.

Je vais examiner la vitesse avec laquelle circuleront les boîtes dans une ligne pneumatique de longueur illimitée, où, par les procédés décrits ci-dessus, le vide sera maintenu à 50 centimètres de mercure, et la pression rentrant par des relais de mille en mille mètres sera de 76 centimètres de mercure, le tube aura $100^{m}/_{m}$ de diamètre.

Mon point de comparaison sera la vitesse dans les réseaux de Paris où une pression de 40 centimètres de mercure donne une vitesse de 20 mètres par seconde, dans une ligne de 1000 mètres de long, 65 millimètres de diamètre.

L'augmentation de diamètre augmentera la vitesse dans la proportion $\sqrt{\frac{100}{65}}$ ou $\frac{10}{8}$, soit 25 mètres par seconde. La considération que la ligne est constamment vidée d'air réduira la longueur frottante des sections de 1000 mètres à une moyenne de 600 mètres maximum, car à l'entrée de chacune des sections, c'est-à-dire au moment où le train franchit le relai de pression, aucune colonne d'air ne marchera avec lui, à la fin seulement la colonne de pression qui chassera le train aura 1000 mètres. Si le vide était absolu, la longueur moyenne de la colonne frottante serait ramenée à 500 mètres. Cette diminution de la colonne frottante nous donne un accroissement de vitesse dans le rapport de $\sqrt{\frac{1000}{600}} = \frac{33}{24}$. La vitesse, portée à 25 par l'augmentation du diamètre, devient $25 \times \frac{33}{24} = 36$ mètres.

Nous avons alors l'augmentation de la différence des pressions qui est également comme le rapport des racines $\sqrt{\frac{76 \times 50}{40}} = \frac{115}{65}$. L'application de ce dernier rapport nous indique que la vitesse approcherait de 70 mètres par seconde.

Cette vitesse est énorme, et vraisemblablement elle engendrerait quelques inconvénients, mais il est évident que nous marcherons avec la plus grande vitesse possible. Or, l'observation de trains marchant dans des conditions analogues, avec des

vitesses de 40 à 50 mètres, a démontré que ces vitesses pratiques étaient très-admissibles en exploitation régulière. Il est seulement nécessaire d'avoir un matériel extrêmement solide et disposé de telle sorte qu'il s'use seul sans user la ligne, ce à quoi l'on parvient en garnissant les parties frottantes des boîtes d'un métal beaucoup plus tendre que celui de la ligne.

Les deux extrémités de la ligne sont munies d'appareils propres aux envois et à la réception, où les précautions ont été prises en vue d'un ralentissement considérable du train à sa réception. Cet effet est obtenu en faisant comprimer de l'air au train dans les cent derniers mètres conduisant à l'appareil et en dégageant ensuite lentement cet air comprimé de manière à ce que le train s'élève lentement dans l'appareil.

Les lignes pneumatiques à relais seraient certainement un engin de communication précieux pour les correspondances à destination lointaine. La facilité avec laquelle les trains peuvent être multipliés sur ces lignes sans frais considérables, la rapidité dont elles sont capables et même le prix de revient peu élevé de ces installations (si on ne s'élève pas dans des diamètres trop grands), rendraient les plus grands services si on les appliquait au service des postes.

Leur vitesse de translation est triple de celle des chemins de fer les plus rapides, si l'on tient compte des arrêts de ces derniers; et leur application sur les lignes de chemin de fer où les correspondances demandent plusieurs jours pour être échangées rendrait évidemment d'immenses services.

Une ligne de cette nature a été proposée pour les communications rapides à établir entre l'Assemblée de Versailles et les Ministères de Paris; son exécution serait un premier pas dans cette voie qui est si peu connue et a été si peu explorée.

M. Fichet demande s'il existe un moyen d'arrêter le train en parcours à des points fixés d'avance, où l'on supprimerait une boîte pour la remplacer par une autre.

M. Crespin répond que ce moyen existe, et plusieurs appareils réalisent cette idée, notamment celui de M. Siemens, de Berlin. Un système semblable a marché quelque temps à Londres, à Telegraph-street, et on l'a même fait fonctionner automatiquement. Cependant on a renoncé à ces moyens parce qu'en fait il n'y a pas grand intérêt à établir des postes intermédiaires de ce genre entre les stations, ce qui nécessite d'ailleurs de produire un courant continu dans un tube unique. On préfère à chaque station avoir des appareils de ligne parallèle pour l'expédition et la réception.

M. Badois fait observer qu'aucun chiffre n'est donné par M. Crespin quant à la dépense qu'occasionnera l'installation d'une grande ligne pneumatique. Il craint que cette dépense ne soit très-élevée en raison de la nécessité de rapprocher les relais tous les 5 kilomètres, et d'établir des usines importantes, tous les 20 kilomètres, ainsi qu'il a été expliqué.

M. Crespin donne quelques prix relatifs à un tube de 100 millimètres et aux appareils qui le desserviraient, et conclut que la dépense de ce chef ne serait pas très-considérable. Quant aux frais de l'exploitation, on peut les réduire si le trafic n'exige pas que les départs aient lieu tous les quarts d'heure, comme on l'a supposé.

Répondant à une question qui lui est posée, M. Crespin indique qu'à Londres le développement des tubes est d'environ 50 kilomètres, que le courant de pression y est continu, et que cela nécessite l'emploi de 150 chevaux de force au moins. A Paris, le réseau des tubes n'est que de 32 kilomètres en plusieurs tronçons, et le

service n'a lieu que par alternances. Il n'exige qu'une force mécanique beaucoup plus restreinte : 20 ou 25 chevaux tout au plus.

M. le Président remercie M. A. Crespin de son intéressante communication.

Séance du 18 Juin 1875.

Présidence de M. Richard, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 juin est adopté.

M. le Président annonce le décès de M. Nillis.

Conformément à l'article 17 des Statuts, M. Loustau, trésorier, donne communication de l'exposé de la situation financière de la Société.

Il indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 19 décembre 1874,

de	1191
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de	58
	1249
A déduire, par suite de décès, pendant ce semestre	9
Nombre total des Sociétaires au 18 juin 1875	1240

Les recettes effectuées pendant le 1er semestre 1875 se sont élevées à :

	fr.	c.	fr.	c.
1° Pour le service courant, droits d'admission, cotisations, locations de salles	21,299	»	23,171	»
2° Pour l'augmentation du fonds social inaliénable, exonérations et dons volontaires	1,872	»		
Il reste à recouvrer en droits d'admission et cotisations			37,839	»
Total de ce qui était dû à la Société			61,010	»

Au 19 décembre 1874, le solde en caisse était de	16,016	45	39,187	45
Les recettes effectuées pendant le 1er semestre de 1875 se sont élevées à	23,171	»		
Les sorties de caisse du semestre se sont élevées à :				
Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, intérêts de l'emprunt, etc.			19,267	»
Il reste en caisse à ce jour			19,920	45

La Société possède en outre : comme fonds social inaliénable, un hôtel qui a coûté une somme de 278,706 fr. 90 c.

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du Trésorier; ces comptes sont approuvés.

M. le Président adresse au nom de la Société des remerciements à M. Loustau, pour sa bonne gestion et son dévouement aux intérêts de la Société.

M. le Président rappelle qu'à une des dernières séances il a été donné lecture d'une lettre de M. Ribourt, sur l'état d'avancement des travaux du Saint-Gothard. Cette lettre annonçait une prochaine communication de l'auteur sur l'emploi de l'air comprimé dans les locomotives. M. Ribourt assistant aujourd'hui à la séance, M. le Président l'invite à présenter lui-même sa communication.

M. Ribourt donne communication de sa note sur la traction par l'air comprimé au tunnel du Saint-Gothard exécuté au moyen de la locomotive à air comprimé de son système. (Voir le cliché page 343.)

La grande rapidité d'exécution du tunnel du Saint-Gothard a posé à l'entrepreneur un problème nouveau : réaliser économiquement un trafic considérable sur une voie ferrée, dans une galerie ouverte seulement à l'une de ses extrémités, où la ventilation ne peut être qu'artificielle et par conséquent restreinte, et dont l'autre extrémité s'éloigne continuellement jusqu'à une distance qui atteindra 7 ou 8 kilomètres.

Le cube des déblais provenant de l'excavation, que l'on doit sortir par chacune des embouchures du souterrain, à Gœschenen (nord), à Airolo (sud), est 400 mètres cubes foisonnés, environ, par 24 heures.

La largeur de voie adoptée pour tout le travail est 1 mètre d'écartement des rails, en sorte que les mêmes wagons peuvent circuler dans toutes les attaques.

Les wagons à déblais satisfaisant à cette condition contiennent en moyenne un mètre cube, c'est donc 400 wagons qui doivent aller et venir dans l'espace de vingt-quatre heures, entre les chantiers d'attaque et la décharge extérieure. Il faut ajouter à ce nombre 40 wagons ou trucs servant au transport des matériaux du revêtement en maçonnerie tels que moëllons, chaux, sable, charpente des cintres et 10 trucs chargés de burins et de machines de rechange pour la perforation mécanique.

L'ensemble de ce service représente un mouvement de 2,300 tonnes par vingt-quatre heures.

Il aurait été difficile ou trop coûteux d'employer dans ce cas les moyens usités ordinairement dans la construction des tunnels ou dans les galeries de mines.

Au tunnel du Mont-Cenis on a employé les chevaux pour la traction des wagons; il y avait à chacune des deux attaques plus de 100 chevaux occupés à ce service et le cube des déblais sortis en vingt-quatre heures n'a jamais atteint celui qui doit être sorti au Gothard.

L'emploi d'un câble avec une machine fixe, placée à l'extérieur, ne conviendrait que difficilement pour d'aussi grandes longueurs, surtout si l'on remarque que le point de formation des trains se déplace continuellement au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

L'emploi des locomotives telles qu'elles fonctionnent sur tous les chantiers est

interdit à cause de la production de fumée. La ventilation artificielle se faisant par moyen d'un tube qui débouche dans le chantier d'excavation, l'air frais doit venir depuis l'extérieur par le souterrain dans sa partie achevée; la fumée qui serait produite en cet endroit devrait donc remonter jusqu'au fond du tunnel pour être évacuée par la conduite de ventilation, ce qui diminuerait d'autant l'effet utile de l'aspirateur.

En présence de ces difficultés, M. Louis Favre, entrepreneur de la construction du tunnel, a songé à utiliser l'air comprimé déjà employé comme force motrice pour la perforation mécanique.

Depuis l'origine des travaux, deux petites locomotives ordinaires servaient à Gœschenen et à Airolo pour transporter les déblais depuis l'embouchure jusqu'à la décharge. C'est avec ces machines transformées que l'on a commencé à faire la traction à l'air comprimé. La première expérience eut lieu le 18 septembre 1873, à Airolo, en remplissant d'air comprimé à 4 atmosphères la chaudière dont la capacité est 1 mètre cube.

Cette quantité étant insuffisante pour faire un trajet utile, on a ajouté un réservoir ou tender de 16^{m3}, 400 mètres cubes de capacité, mis en communication avec la chaudière et porté sur deux trucs articulés, que la locomotive remorquait en même temps que le train.

Bien que formant un appareil très-encombrant (ce réservoir a 8 mètres de longueur et 1^{m},60 de diamètre), c'est avec cette disposition que les locomotives « la Reuss » à Gœschenen et « le Tessin » à Airolo, actionnées par l'air comprimé, ont sorti les déblais du souterrain depuis le mois de décembre 1873 jusqu'à ces derniers temps où des machines d'un système plus perfectionné les ont remplacées.

Elles ont permis de réaliser des économies notables, leur faible consommation d'air ne nécessitant aucune adjonction aux compresseurs déjà établis pour les perforatrices, et le charbon coûtant un prix énorme (jusqu'à 110 francs la tonne) à Gœschenen et à Airolo, par suite des difficultés de transport à ces altitudes, pendant la plus grande partie de l'année.

Les résultats de ces premiers essais ayant servi de base à la détermination des machines spéciales construites depuis lors, il est utile d'en indiquer le mode de fonctionnement ainsi que les principaux chiffres.

On remplit la capacité de la chaudière et de son tender réunis, 17^{m3},400 avec l'air comprimé pris sur la conduite principale du tunnel, dont la pression est généralement 7 atmosphères absolues. On peut ainsi traîner des trains qui varient de 30 à 60 tonnes, depuis l'entrée du souterrain jusqu'à l'extrémité de la décharge, c'est-à-dire sur 300 à 400 mètres de longueur, aller et retour, avec une vitesse qui correspond à 10 kilomètres à l'heure, environ. Au fur et à mesure de la marche, la pression baisse dans le réservoir; il est nécessaire que le mécanicien règle l'introduction dans les cylindres, au moyen de la valve d'admission et du levier de la distribution, pour égaliser la marche du train.

La voie est sensiblement en palier et en ligne droite à Gœschenen ; à Airolo on remonte une pente de 12 millimètres en franchissant une courbe de 100 mètres de rayon, puis la voie devient droite, en rampe de 12 millimètres.

Il faut tenir compte, dans le calcul de la résistance du train, de ce que la voie est assez inégale, vu les tassements incessants du remblai, ainsi que de la qualité du matériel.

Voici les chiffres relatifs à l'une des nombreuses expériences que j'ai été à même de faire sur ce mode de fonctionnement.

Poids de la locomotive.	4,600	kilogrammes.
Poids du tender avec ses trucs.	7,000	—
16 wagons poids mort (1,300^k).	20,800	—
Charge des 16 wagons (2,000^k).	32,000	—
Poids du train.	64,400	kilogrammes.

Trajet de 300 mètres sensiblement en ligne droite et en palier.
Pression au départ, 5 kilogrammes par centimètre carré.
Pression à l'arrivée, 4 —
Capacité du réservoir d'air, $17^{m3},400$.
Introduction moyenne dans les cylindres, $0^m,40$.
Diamètre des pistons moteurs, $0^m,204$.
Course des pistons, $0^m,360$
Diamètres des roues motrices, $0^m,760$.

Le travail théorique développé par l'air introduit dans les cylindres, en ne tenant compte que de la loi de Mariotte, en négligeant l'influence des variations de température, est exprimé par la formule :

$$T_m = pv\left(1 + \log' \frac{1}{z}\right) - p'v',$$

dans laquelle :

T_m est le travail moteur théorique en kilogrammètres.
pv le produit du volume introduit en mètres cubes par la pression d'introduction en kilogrammes par mètre carré.
z l'introduction dans les cylindres.
p' la contre-pression sur les pistons, 12,000^{kg} par mètre carré.
v' le volume engendré par les pistons pendant tout le parcours.

Dans les conditions de l'expérience citée :

$$T_m = 262{,}500 \text{ kilogrammètres.}$$

Le travail résistant du train, en prenant 8 kilogrammes par tonne de train comme résistance au roulement et 5 kilogrammes additionnels par tonne de machine pour la résistance du mécanisme en pression, est, dans cette expérience :

$$T_R = 538^{kg} \times 300 \text{ mètres.}$$

Soit :

$$T_R = 161{,}400 \text{ kilogrammètres.}$$

Le rapport du travail produit au travail moteur est donc, dans cette expérience :

$$\frac{161{,}400}{262{,}500} = 0{,}61.$$

Toutes les expériences faites et calculées dans ce sens ont donné de 0,50 à 0,60 pour le rapport du travail de traction au travail théorique de l'air dépensé. Le cal-

cul précédent est donné en détail pour montrer les limites dans lesquelles le résultat doit être interprété.

Les renseignements pratiques que l'on peut déduire de ces expériences sont les suivants.

Les fuites qui ont lieu entre les tiroirs et leurs glaces influent dans une grande proportion sur le chiffre de l'utilisation, puisque l'on suppose que tout l'air dépensé a travaillé utilement; ces fuites augmentent avec la pression, il y a avantage à marcher à basse pression. Dans ce dernier cas, le refroidissement des cylindres dû à la détente de l'air est moins considérable qu'à haute pression. Ce refroidissement devient un inconvénient très-grave dans le cas où l'on marche à une pression un peu élevée, 7 atmosphères par exemple et avec beaucoup de détente. Le fait est mis en évidence par une locomobile qui fait marcher l'atelier de réparations, à Gœschenen, au moyen de l'air comprimé, lorsque le moteur ordinaire, une turbine, a des avaries. Ce n'est qu'en chauffant fortement les cylindres et les tiroirs de cette machine avec du coton imbibé de pétrole, que l'on peut marcher d'une manière suivie. L'eau entraînée depuis le compresseur forme avec les huiles, en se congelant, un mastic très-dur qui arrête complètement le mouvement. Si ce fait ne s'est pas révélé jusqu'ici dans les perforatrices, c'est que ces machines fonctionnent avec peu ou point de détente; il n'y a que l'orifice d'échappement qui soit quelquefois susceptible de se boucher par de la glace.

Les imperfections de la distribution qui, dans une locomotive, sont assez importantes, par suite du jeu nécessaire au franchissement des courbes, et de celui qui résulte de la flexibilité des ressorts de suspension, montrent qu'il y a avantage à faire des introductions variant entre le 1/4 et la 1/2 course, et par conséquent à basse pression, pour que l'air envoyé à l'échappement ne soit plus à une pression utilisable.

Le point principal, qui a déjà été indiqué précédemment, est que la pression varie à chaque instant dans le réservoir d'alimentation; de sorte que pour obtenir un travail constant dans les cylindres, le mécanicien doit varier l'introduction, ce qu'il ne peut faire que par saccades, au détriment de la quantité d'air emmagasinée, par suite au détriment de la longueur du parcours. Cette décroissance de la pression, ou plutôt cette détente du gaz dans le réservoir, dont tout le volume a dû être introduit à la pression initiale, constitue une première perte sèche de travail qui est inhérente à toute masse de gaz accumulée dans un réservoir qui dépense ensuite sans être alimenté.

Ces diverses considérations m'ont amené à la recherche des conditions suivantes, pour une locomotive à air comprimé : introduire à basse pression dans les cylindres de façon à ne faire la détente que dans les rapports de 1/2 ou 2/3; avoir un appareil qui maintienne automatiquement la pression d'introduction constante, quelle que soit la pression de l'air accumulé dans le réservoir.

Ces conditions ont été réalisées dans deux locomotives qui fonctionnent maintenant au tunnel du Gothard ; elles ont été construites dans les ateliers de MM. Schneider et Cie au Creuzot, d'après les indications qui leur ont été communiquées au mois de mai 1874.

Le châssis avec les cylindres, les bielles, le mouvement de distribution, les roues, etc., est exactement le même que celui des autres locomotives ; on a seulement supprimé le mouvement des purgeurs.

Le châssis porte, en place de la chaudière, un réservoir cylindrique en tôle d'a-

cier, le plus grand possible, dans lequel on doit emmagasiner l'air à la plus forte pression possible.

Cette pression est limitée par le fonctionnement du compresseur, par la possibilité de maintenir pratiquement les joints étanches dans les conduites. De plus, quel que soit le système de régulation de l'introduction dans les cylindres, tiroirs, cylindres à frottement doux, etc., il se produit, même à basse pression, une fuite, par le contact des deux surfaces, aussi bien rodées qu'elles soient. Cela n'a pas d'importance tant que la différence des pressions reste 7 ou 8 atmosphères, mais il est probable que si l'on se proposait de charger le réservoir principal à 80 ou 100 atmosphères, comme certains inventeurs le prétendent, ce genre de fuites deviendrait une fraction importante de la quantité d'air introduite dans les cylindres et ferait perdre ainsi tout le bénéfice de la régulation.

Au tunnel du Gothard on s'est fixé sur 14 atmosphères; une disposition spéciale permet, si les compresseurs ont un rendement trop défectueux depuis 1 jusqu'à 14 atmosphères, de leur faire aspirer l'air déjà comprimé à 7 atmosphères pour le porter à 14, conditions dans lesquelles le fonctionnement est assuré, la compression se faisant dans le rapport 1/2.

A la sortie du réservoir principal de la locomotive, l'air comprimé passe par un appareil régulateur dans lequel il se détend, et sort à la pression d'introduction des cylindres. Un petit réservoir est interposé entre ces derniers et le régulateur, afin d'éviter les mouvements brusques au démarrage ou à l'arrêt de la machine.

C'est la disposition de ce régulateur de détente, appliqué à la locomotive à air comprimé, et qui pourrait d'ailleurs s'appliquer à d'autres fluides, qui est brévetée.

La détente du gaz a lieu dans des orifices de dimensions variables qui sont déterminées par la pression de sortie agissant sur un piston, d'une part; équilibrée par la tension d'un ressort dont la puissance détermine justement le degré de cette même pression. On peut, en réglant la tension du ressort au moyen d'une vis manœuvrée à la main, faire varier, dans certaines limites, l'intensité de cette pression, sur un même appareil.

On doit remarquer que l'on bénéficie ainsi de tous les avantages du fonctionnement de l'air comprimé à basse pression avec détente, qui ont été énumérés précédemment.

En principe, on perd tout le travail de détente de l'air depuis la pression à laquelle il se trouve dans le réservoir principal jusqu'à la pression d'introduction dans les cylindres. Il faut remarquer que cette perte va en diminuant au fur et à mesure du fonctionnement, puisque forcément la pression diminue dans le réservoir.

Il faut comparer à la fois cette perte de travail et la simplicité de la machine, dans laquelle le mécanicien n'a pas à s'occuper de la variation de pression, avec la difficulté qu'il y aurait d'obtenir une distribution à introductions variables automatiquement par la pression d'introduction, au fur et à mesure de sa décroissance. Un appareil qui remplirait ces dernières conditions serait trop compliqué pour fonctionner régulièrement sur une machine locomotive.

Les résultats du fonctionnement des locomotives chargées à 14 atmosphères ne peuvent encore être connus exactement, les installations des compresseurs spéciaux n'étant pas encore achevées au tunnel du Gothard.

En attendant, les deux locomotives du système décrit font le service des transports à Gœschenen et à Airolo, en partant de 7 atmosphères, on introduit dans les cylindres à une pression de 3 kilogrammes par centimètre carré; déjà, les quelques

expériences qui ont pu être faites font prévoir un chiffre d'utilisation bien supérieur à celui des premières machines, et qui vient à l'appui des idées qui viennent d'être développées.

Au point de vue de l'utilisation du travail moteur primitif qui, au tunnel du Gothard, est une chute d'eau, il est intéressant de considérer les résultats déjà acquis par les expériences de traction à l'air comprimé.

Si l'on prend le chiffre de 50 pour 100 comme rendement du travail théorique de l'air introduit dans les cylindres de la locomotive, transformé en travail de traction.

Les compresseurs actuels à 7 atmosphères rendant, en air comprimé, 70 p. 100 du travail de la chute d'eau motrice; si l'on calcule, par analogie, le travail qu'il faudra dépenser par cette chute d'eau, pour obtenir l'air à 14 atmosphères alimentant les locomotives.

Le rapport entre le travail de traction et le travail moteur primitif, c'est-à-dire l'utilisation, après avoir passé par la série d'organes : turbine, compresseur, régulateur de détente, cylindres de la locomotive, se trouve être 23 pour 100.

Ce chiffre est de beaucoup supérieur à celui que l'on trouve pour les machines à air comprimé employées actuellement; les perforatrices, par exemple, ne permettent de recueillir en travail de percussion, au fond de la galerie, que 4 à 6 pour 100 du travail dépensé en chute d'eau à l'extérieur.

Ce chiffre de 23 pour 100, malgré les imperfections que présentent les machines desquelles il résulte, peut être mis avec avantage en comparaison avec celui de l'utilisation des locomotives à vapeur, si l'on part du travail correspondant à la quantité de calories contenues dans le charbon dépensé.

Aujourd'hui que le passage en longs tunnels à la base des montagnes semble devoir l'emporter sur les lignes à hautes altitudes et à fortes rampes; que la question de traction dans ces grands souterrains commence à préoccuper les esprits, vu la difficulté de l'aérage; la locomotive à air comprimé peut présenter une solution avantageuse en dehors d'autres applications spéciales mais moins importantes.

Elle supprime du coup la question de ventilation artificielle. Quant à la dépense de traction, elle est minime ; le torrent donne la force motrice à profusion, et l'installation hydraulique de compresseurs qui aura servi à percer le tunnel servira à le franchir.

M. Mallet a entendu avec un vif intérêt la communication de M. Ribourt; l'application de l'air comprimé qui en fait l'objet permettant d'emmagasiner, pour servir à la traction des trains, la puissance produite par une chute d'eau plus ou moins éloignée, constitue en effet une solution remarquable de l'utilisation des forces naturelles gratuites, le problème le plus important peut-être auquel puisse s'attaquer l'art de l'ingénieur.

M. Mallet croit toutefois devoir présenter quelques observations; la première n'est qu'une critique de détail. M. Ribourt a indiqué l'emploi d'un appareil spécial pour régulariser l'émission de l'air et lui permettre d'agir à pression constante sur les pistons. L'idée de ce régulateur ou détendeur est assez naturelle, car on le retrouve à peu près dans tous les cas où on a à employer des gaz comprimés à pression décroissante, soit qu'il s'agisse d'en obtenir un travail moteur, et à ce sujet il serait injuste de ne pas rappeler en passant les travaux de MM. Andraud, Tessié du Motay et Julienne sur l'application de l'air comprimé à la locomotion, soit qu'on

se propose d'autres effets, par exemple le cas bien connu du gaz portatif; on se sert même de ces régulateurs ou détendeurs pour la vapeur, entre autres dans les locomotives à eau chaude, dites *locomotives sans feu* dont on s'occupe beaucoup en ce moment.

Toutefois l'emploi de cet appareil doit être peu favorable à la bonne utilisation du fluide moteur, puisqu'il a pour effet de réduire au minimum les pressions initiales, et il est peut-être imprudent d'ajouter cette cause de perte à celles qui existent déjà inévitablement dans le maniement de l'air comprimé, et cela sous le seul prétexte de la simplicité peut-être plus apparente que réelle qu'apporterait au fonctionnement de l'appareil la régularisation de la pression d'émission.

M. Mallet bornerait là ses observations, si M. Ribourt n'avait pas indiqué dans son mémoire l'application possible de l'air comprimé à la traction des trains pour l'exploitation normale des grands souterrains, et en général dans les cas où l'émission des produits de la combustion présente de graves inconvénients.

Amené sur ce terrain, M. Mallet ayant eu l'occasion de citer tout à l'heure, bien qu'accessoirement, les locomotives à eau chaude, désire indiquer rapidement l'énorme supériorité qu'aurait, à son avis, pour ce cas particulier l'emploi de l'eau chaude sur celui de l'air comprimé. En effet, pour un même volume d'eau chaude et d'air, avec les mêmes tensions initiales et dans les mêmes limites d'abaissement de pression, le travail sera dans le premier cas *vingt fois* au moins celui qu'il serait avec l'air comprimé, et quant à la question du poids, quoique la densité de l'eau chaude soit bien plus grande que celle de l'air comprimé, la machine à eau chaude aura encore la supériorité de ce chef.

Dans l'exemple cité par M. Ribourt, où le travail de traction du train a exigé l'emploi d'une quantité d'air correspondant à l'abaissement de 5 kil. de pression à 4 de 17,4 mètres cubes d'air comprimé, le même travail pourrait être accompli avec 12 kilogrammes de vapeur nécessitant seulement 150 à 180 litres d'eau chaude.

En outre les appareils pour fournir l'eau chaude sont infiniment plus simples que les compresseurs d'air, et n'exigent que peu ou même pas du tout de force motrice; enfin l'emploi de la vapeur est beaucoup plus commode et plus sûr que celui de l'air comprimé avec lequel les refroidissements et les contractions de volume dus à l'expansion rendent les avantages théoriques de la détente absolument illusoires.

M. P. Regnard est d'avis que le refroidissement total occasionné par la détente de l'air produit, malgré la présence du détendeur, un premier abaissement de température s'effectuant dans cet appareil et un second dans les cylindres.

Les inconvénients signalés par M. Ribourt, comme tenant à la production de la glace dans ces conditions, ne se présentent-ils pas par suite dans les cylindres et dans les organes du détendeur lui-même? Ou faut-il admettre que ce régulateur ou détendeur ait une surface telle qu'il reprenne à l'atmosphère les calories perdues, en agissant alors à l'inverse d'un condenseur à surface?

Il croit que l'emploi de l'air comprimé présente de réels avantages dans les conditions déterminées qu'on a citées; mais pour l'exploitation normale des longs tunnels avec un grand trafic, il désirerait savoir si l'on a calculé au moins approximativement quelles seraient les dimensions des réservoirs, et s'il ne serait pas nécessaire d'établir des relais pour remplir à nouveau ces réservoirs dans le parcours même des tunnels.

M. Fichet admet l'avantage de l'air comprimé, dont l'emploi dispense de celui d'un combustible souvent fort coûteux, mais il pense que si l'on voulait appliquer l'air

22

comprimé à l'exploitation régulière des grands tunnels, ce qui pourrait se faire en conservant les appareils qui ont servi à opérer le percement en alimentant les perforateurs, il serait peut-être préférable d'abandonner franchement les locomotives et de revenir à un système analogue à celui du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain, mais inverse, un tube dans lequel serait un piston poussé par l'air comprimé et attelé au train.

M. Ribourt rappelle à ce sujet qu'un tube pneumatique doit être employé partiellement sur le chemin de fer à plan incliné en construction entre Ouchy et Lausanne[1], ce tube est destiné à faire concurremment avec le système funiculaire le service de la section comprise entre la gare de la Suisse occidentale et Lausanne.

M. le Président considère l'emploi de l'air comprimé au Saint-Gothard, et dans les conditions où l'essai en a été fait, comme très-rationnel ; il ne faut pas perdre de vue qu'on utilise là pour la traction des trains le fluide moteur produit pour le travail de perforation, et dès lors sans dépenses ni installations spéciales. On a donc gratuitement tous les avantages qui résultent de ce système pour l'absence de fumée et de gaz nuisibles.

M. Mallet tient à ce qu'il soit bien compris qu'il n'a pas entendu attaquer l'application faite au Gothard, telle qu'elle a été faite ; on disposait là de grandes masses d'air comprimé, et on pouvait faire l'essai pour ainsi dire sans dépenses. Ses critiques n'ont porté que sur l'application à l'exploitation régulière d'un grand tunnel ; mais maintenant il est disposé à aller plus loin. Il croit fermement que si on devait, comme il a cru le comprendre, installer au Gothard pour le service de la traction des compresseurs et des conduits spéciaux à pressions très-élevées (on a parlé de 14 atmosphères), l'avantage de l'air comprimé pourrait bien disparaître absolument.

M. Mallet rappelle l'observation qu'a faite M. Regnard ; il craint qu'en général on soit porté à ne pas tenir assez de compte de la manière dont se comporte l'air comprimé en se détendant ; la loi de Mariotte est tout à fait inapplicable dans ce cas, et le travail réel n'est plus qu'une fraction de celui qu'elle indiquerait. Quant à l'économie résultant de la suppression de combustible, il ne faut pas se l'exagérer. Dans l'exemple déjà relevé, le travail nécessaire pour faire parcourir au train la distance de 300 mètres serait obtenu par la combustion de *un kilogramme et demi* de charbon au plus. Cette dépense minime, quel que soit le prix du combustible, pourra bien être réellement économique, mise en balance des excédants de dépenses d'établissement, d'intérêts, d'entretien et de traction de machines à air comprimé dont le poids s'élève, tender compris, à 11 400 kilogrammes, pour un travail de 20 à 25 chevaux nets, sans compter la balance à faire entre les appareils de production de la puissance motrice. Il y a là matière à sérieuse réflexion, et M. Mallet croit qu'il est prudent, avant de trancher la question, d'attendre les résultats d'essais des nouvelles machines annoncées par M. Ribourt, résultats que M. Mallet est pour sa part très-impatient de connaître.

Du reste, il n'y a là qu'un cas particulier de la vaste question de la comparaison entre les machines à vapeur qui brûlent du charbon dispendieux et des forces hydrauliques naturelles qui ne coûtent rien pour leur fonctionnement, mais qui cependant, dans bien des cas, tant à cause des dépenses d'établissement que pour d'autres raisons, se voient préférer leurs rivales ; il ne peut évidemment y avoir là de solution générale.

1. Voir séance du 2 octobre 1874.

M. Quéruel ne serait pas d'avis de réduire la pression de l'air pour diminuer les frottements des tiroirs, leur usure et les fuites qui résultent d'une grande pression. Il préférerait voir cette dernière utilisée dans toute sa puissance, quitte à modifier la détente au moyen d'un régulateur au fur et à mesure de l'abaissement de la pression.

Ce serait ici le cas d'appliquer le système de machines à deux cylindres inégaux, agissant sur des manivelles à angle droit, dans lesquelles l'air comprimé agirait successivement et par dégradation du petit cylindre au grand.

De cette façon on pourrait employer l'air comprimé à de grandes pressions, et recueillir tout le bénéfice d'une bonne détente, sans éprouver plus d'inconvénients de surcharge et de fuites aux tiroirs que la basse pression n'en donne maintenant.

Puis, pour parer aux abaissements successifs de température qui se produisent dans les cylindres, ne pourrait-on pas, par un moyen quelconque, chauffer les cylindres et le gaz comprimé? Cette surchauffe aurait l'avantage de soutenir la pression pendant la consommation, et de s'opposer à la congélation des huiles.

Sur une observation de M. Ribourt, qu'on avait tenu à conserver dans la construction de la machine un caractère d'extrême simplicité, M. Quéruel fait observer que le système des machines à cylindres inégaux et à manivelles à angle droit, type *Compound*, ne complique en rien la machine, puisqu'il n'y a pas une pièce de plus que dans les machines ordinaires.

M. Henry indique qu'on fait en ce moment des essais sur une locomobile à air comprimé où on rechauffe l'air au moyen d'eau chaude à 50 degrés; cette disposition a l'avantage de combattre le refroidissement de l'air et les inconvénients qu'il entraine, et d'utiliser dans une certaine mesure la chaleur contenue dans l'eau.

M. Gillot croit que les limites de pression indiquées par M. Ribourt sont bonnes, mais il faudrait se garder de les exagérer, car alors on éprouverait de grandes difficultés pour éviter les pertes d'air.

M. le Président est d'avis que l'application de l'air comprimé à la locomotion, qui vient de faire l'objet de la discussion, a de l'avenir, bien qu'il puisse y avoir des points de détail à perfectionner. Il y a là, en tous cas, un sujet d'étude sérieuse, et à ce titre il était utile d'appeler sur cette question l'attention de la Société. Il remercie M. Ribourt de son intéressante communication.

M. Ferdinand Gautier donne communication de sa note sur les *Constructions en acier*.

Que doit-on entendre par *acier pour constructions?*

Il est conduit alors à revenir sur la classification du Creusot, étudiée déjà en 1874 par M. Marché. Il trouve le nombre des catégories beaucoup trop élevé, attendu que celui des aciers réellement applicables aux usages industriels est beaucoup plus restreint. La considération de la trempe à l'huile est plutôt de nature à jeter le trouble dans l'esprit du consommateur qui la confond avec la trempe à l'eau. Mais on pourrait maintenir l'absence de trempe à l'eau comme critérium de la douceur des aciers.

Une classification, tout en travaillant pour l'avenir, doit tenir compte du présent. A ce point de vue on peut regretter que la classification du Creusot soit basée sur des essais de 10 centimètres de longueur, et non sur 20, comme c'est l'usage depuis plus de dix ans dans les chemins de fer et la marine de l'État. Il en résulte que les

conditions de recette de ces grandes administrations ne peuvent trouver place dans aucune des nombreuses séries offertes au consommateur. Car, les allongements pour 100 à la rupture sont beaucoup plus considérables sur 10 centimètres de longueur que sur 20. Pour montrer l'influence de la longueur, M. Gautier extrait des essais pour canons d'acier faits en 1870 par la commission régionale d'artillerie, des nombres représentant pour 16 nuances de métal, les allongements pour 100 mesurés sur des longueurs variant de 5 à 20 centimètres. On voit ainsi que, *plus l'acier est doux, plus la longueur influe sur l'allongement pour* 100 *à la rupture*, à cause de la *striction*, ou étranglement de la section de rupture accompagné d'un grand allongement local.

Sur 20 centimètres.	15 centimètres.	10 centimètres.	5 centimètres.
24 °/₀	26,7	30	[illegible]0
10	11,3	12,7	15,7

Un acier à 20 pour 100 d'allongement de la classification du Creusot n'est en réalité que ce que l'on appelle un acier à 15 pour 100, mesurés sur 20 centimètres.

En appelant F la charge de rupture en kilogramme par millimètre carré, et Δ l'allongement pour 100 à la rupture, M. Marché a donné pour les essais du Creusot la formule empirique :

$$F + 2\Delta_{10} = 102.$$

M. Gautier propose pour les essais faits sur 20 centimètres :

$$F + \frac{3}{2}\Delta_{20} = 77,5$$

d'où il tire la formule de transformation :

$$\Delta_{10} = \frac{3}{4}\Delta_{20} + 12,25$$

qui ne s'accorde avec le précédent tableau que pour les qualités les plus douces.

Il cherche ensuite à établir par des considérations théoriques comment s'impose à l'esprit l'influence bienfaisante de la *douceur du métal*, au point de vue des constructions.

Les mises en charge dans la nature doivent être considérées comme faites avec une certaine vitesse, et par conséquent comme des chocs. D'où, pour la matière, la nécessité d'absorber par son travail moléculaire une certaine quantité de force vive.

Si on soumet une tige d'acier d'un millimètre carré de section à un effort de traction, et que l'on construise une courbe ayant pour abscisses les allongements pour 100 s et pour ordonnées les charges f correspondantes, exprimées en kilogramme par millimètre carré, l'intégrale

$$\int_0^L f.ds = \frac{L^2}{2E} = U,$$

représentera le travail moléculaire jusqu'à la limite d'élasticité L pour une matière dont le coefficient d'élasticité est E. En appliquant l'équation générale entre les

forces vives et les travaux des forces, on peut dire que, *pour éviter les déformations permanentes*, la force vive extérieure produite par la mise en charge et rapportée à l'unité de section doit être inférieure au travail moléculaire V, que l'on peut appeler *résistance vive d'élasticité.*

En étendant cette intégrale jusqu'à la charge de rupture F, et l'allongement pour 100 correspondant Δ

$$\int_0^{\Delta} f\,ds = \mathrm{R},$$

sera le travail moléculaire total jusqu'à la rupture, et on pourra dire de même que, *pour éviter la rupture*, la force vive extérieure produite par la mise en charge et rapportée à l'unité de section devra être inférieure au travail moléculaire R, que l'on peut appeler *résistance vive de rupture.*

En prenant sur l'axe des y le point qui correspond à la limite d'élasticité, et le joignant par une droite au point de rupture, on déterminera un trapèze dont la surface sera sensiblement équivalente à l'intégrale définie R, et on aura approximativement

$$\mathrm{R} = \frac{\Delta}{2}(\mathrm{L}+\mathrm{F}) = \frac{3}{4}\,\mathrm{F}.\Delta,$$

en admettant pour la limite d'élasticité la moitié de la charge de rupture.

Introduisant la relation empirique proposée entre F et Δ, il vient :

$$\mathrm{R} = \frac{3}{4}\,\Delta_{20}\left[77{,}5 - \frac{3}{2}\,\Delta_{20}\right].$$

Faisant quelques applications numériques, on trouve que R varie depuis 312 pour les aciers durs, jusqu'à 750 pour les aciers les plus doux. Le maximum de R correspond à un acier qui aurait 25 à 26 pour 100 d'allongement, et 40 kilogrammes environ de charge de rupture.

Donc, autant qu'il est permis d'appliquer le calcul à des questions aussi complexes que la rupture, *les aciers qui semblent les plus aptes à résister au choc sont ceux qui correspondent à la plus grande douceur pratique et qui, par conséquent, ont la charge de rupture la moins élevée.* Ce sont aussi ceux qui conviennent seuls aux constructions, comme l'expérience le montre; les aciers, même demi-doux, ayant amené jusqu'ici des mécomptes déplorables.

M. Gautier traite ensuite du développement de l'acier dans les constructions navales en France. Actuellement, huit navires cuirassés sont en chantier, dont trois entièrement achevés. Ils sont totalement en acier extra doux, dit *métal fondu*, correspondant à 45 kilogrammes et 20 pour 100 d'allongement (mesurés sur 20 centimètres). Il n'y a d'exception que pour les rivets, les tôles de bordé extérieur en contact avec l'eau de mer, et les blindages qui sont en fer. L'initiative de cet emploi de l'acier, fondé sur un grand nombre d'expériences, est dû à M. de Bussy, directeur de constructions navales à Lorient, aidé de MM. Barba et Godron, ingénieurs de la marine.

La fabrication de ce métal extra doux, due primitivement aux recherches de l'usine de Terrenoire, est maintenant dans la pratique également au Creusot et à Saint-Chamond, par l'emploi du ferromanganèse.

M. Barba a publié sur les expériences faites à Lorient une brochure dont M. Gautier donne l'analyse[1].

Le poinçonnage des tôles d'acier doux amène dans le voisinage du trou une détérioration de la matière, qui n'est pas accompagnée de fentes, comme on l'avait cru jusqu'alors. On s'en est assuré à Lorient en enlevant sur les tôles toute la partie extérieure à la zône qui entoure le trou et la réduisant au tour en une bague de 1 millimètre et demi d'épaisseur. En ayant soin de recuire ces bagues elles s'aplatissaient sous le marteau tandis qu'elles se brisaient à l'état naturel.

On peut *poinçonner et recuire* ou *poinçonner et aléser au foret*, enfin *percer entièrement au foret*. M. Barba recommande la solution mixte du poinçonnage avec alésage au foret comme moins chère que le perçage au foret, et amenant une économie de 40 pour 100 environ.

Quand on ne peut éviter complétement les déformations à froid, il faut recuire *jusqu'au rouge cerise;* c'est indispensable après le cisaillage et le martelage.

L'emboutissage et le travail des tôles à chaud n'a pas de limites, pourvu que le chauffage soit fait avec précautions, et suivi d'un recuit quand les formes sont dissymétriques.

Il est préférable de travailler les cornières à chaud, et quand on doit faire des soudures, l'interposition d'une petite lame de fer facilite considérablement l'opération.

Le travail des doubles T occasionne dans les navires des déformations profondes, qui ont été exécutées à Lorient entièrement à froid, mais il est préférable, pour la durée de la construction, d'opérer à chaud.

Un des points les plus remarquables du travail de M. Barba, et qui confirme les vues théoriques exprimées au commencement de cette communication, c'est qu'avec un mouton de 1 350 kilogrammes tombant de 10 mètres de hauteur, on a produit des flexions sans rupture sur des poutres en double T de 30 centimètres de hauteur. Dans le tir du canon sur des murailles cuirassées, où les tôles cornières et doubles T avaient été remplacés par du métal fondu, la pénétration a eu lieu *avec le tiers seulement des éclats que donnerait le fer*. Il n'en serait pas de même avec des blindages en cette matière, à cause de l'état cristallin qu'il est impossible d'enlever par le travail mécanique du laminage, à des pièces d'aussi grande épaisseur.

La rivure des tôles d'acier peut se faire en employant les règles applicables à une tôle de fer dont l'épaisseur serait les 4/3 de celle en acier. La forme de rivet la plus convenable est un système mixte à tête plate et à fraise comme ceux du *Great-Eastern*.

Passant en revue les applications de l'acier aux constructions dans les autres pays, M. Gautier parle en détail de la discussion qui a eu lieu sur ce sujet à l'*Institution of naval architects* de Londres. M. Barnaby, ingénieur en chef des constructions navales de la marine britannique, après avoir visité les travaux de Lorient, désirerait posséder à bon compte une matière analogue en Angleterre, car il est très-satisfait de ce qu'il a vu pratiquer.

La Prusse n'a rien à nous apprendre comme fabrication ou comme emploi du métal doux, et Krupp, sur cette question, est loin d'être à la hauteur des fabricants français.

1. *Étude sur l'emploi de l'acier dans les constructions*, par J. Barba. — Baudry, Paris.

Les quelques constructions en acier faites par la Hollande ont employé du métal trop dur,et ce n'est pas un exemple à suivre.

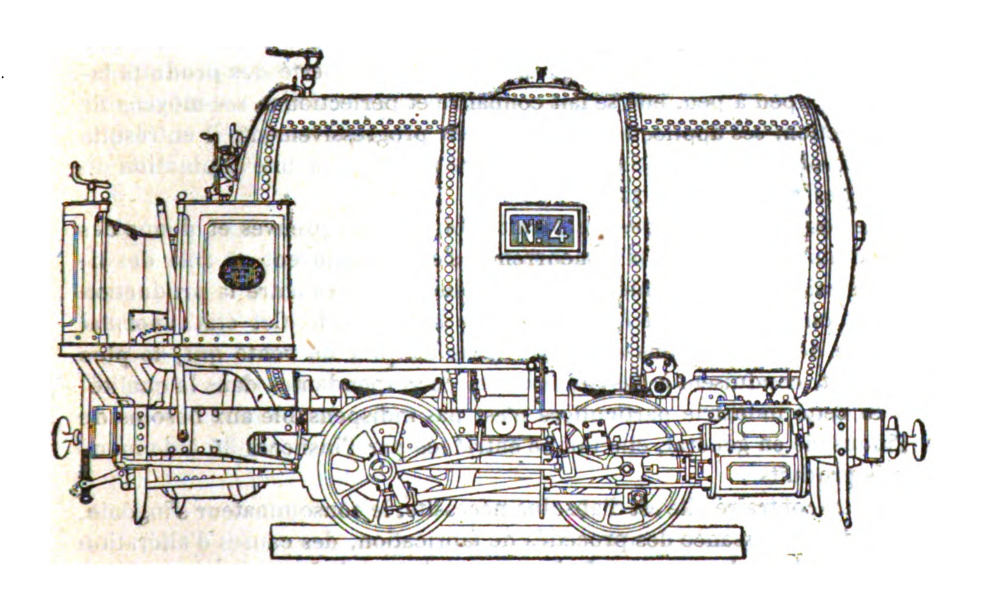
Aux États-Unis, il y a bien un certain emploi de l'acier projeté dans les grands ponts d'East-River et de Saint-Louis, mais les détails manquent, et rien n'est fait encore.

M. Gautier termine en attirant l'attention de la Société sur l'*United States Board for government tests of iron and steel.* C'est un comité formé de 7 membres de l'artillerie de la marine et du génie civil, chargé de déterminer expérimentalement la résistance et la valeur de toutes espèces d'aciers, fers et autres métaux qu'on leur donnera ou qu'ils pourront se procurer, et de construire des tables donnant la résistance et la valeur de ces matériaux au point de vue de la construction.

Il lit le programme complet des expériences et les noms des membres de ce comité. Pour donner une idée de l'importance de ces recherches, il cite la machine d'essai qui doit être capable d'expérimenter à la traction et à la compression sur des échantillons de toutes les longueurs jusqu'à $9^{m},15$, et de toutes les épaisseurs ou largeurs jusqu'à 77 centimètres avec une force maximum de 363 tonnes et même de 910 tonnes dans certains cas.

Peut-être serait-il intéressant que la Société des ingénieurs civils, qui compte tant de membres intéressés dans les questions étudiées, se mît en relation avec le président du comité pour lui soumettre quelques points plus spécialement intéressants.

M. le Président remercie M. Gautier de son intéressante communication.



NOTICE

SUR LA

FABRICATION ET L'EMPLOI

DU

CAOUTCHOUC VULCANISÉ

PAR M. LOUIS OGIER.

La fabrication du caoutchouc vulcanisé est arrivée à la période de difficultés que traversent toutes les industries, après un certain temps d'existence.

Une industrie se crée et se développe toujours à l'ombre du bon marché relatif de la matière première et de la cherté des produits fabriqués : peu à peu, elle se fait connaître et perfectionne ses moyens de production, ses applications augmentent progressivement, il en résulte un accroissement du prix de la matière première et une diminution du prix des produits fabriqués.

Le jour où cette industrie paraît avoir fait ses preuves et donne des résultats satisfaisants, la concurrence s'établit, souvent au delà des limites raisonnables, et bientôt il n'y a plus équilibre entre la production et la consommation et l'offre surpasse la demande. Cet état anormal amène des diminutions exagérées dans les prix de vente qui, le plus souvent, conduisent à des diminutions correspondantes dans la qualité.

Si cette industrie particulière n'est pas indispensable aux besoins de l'industrie en général, elle tombe entraînée par l'insuccès dû à de mauvais produits.

Si au contraire elle est d'absolue nécessité, le consommateur s'ingénie, prend connaissance des procédés de fabrication, des causes d'altération de la qualité, des moyens de les reconnaître et de les prévenir, et force le producteur à revenir à des produits sérieux qui sauvegardent les intérêts de tous.

L'industrie du caoutchouc, plus que toute autre, devait à courte échéance passer par ces diverses phases. Les premiers résultats furent beaux à tous égards. Le caoutchouc brut affluait dans les ports d'arri-

vage, il coûtait en moyenne 2 francs à 2f,50 le kilogramme; le caoutchouc manufacturé se vendait 12 francs à 14 francs! Malgré les déboires et les tâtonnements inséparables des débuts d'une affaire, les premiers fabricants largement rémunérés ne songeaient pas à altérer leur fabrication et voyaient se multiplier à l'infini les applications du précieux produit dont ils avaient organisé l'exploitation. Mais, attirée par des bénéfices qui, il faut bien le dire, auraient été exagérés si on avait su employer convenablement la gomme naturelle, la concurrence se monta rapidement : elle éprouva des déceptions cruelles; elle fit des études coûteuses et racheta son inexpérience par des falsifications auxquelles ne se prêtait que trop le travail du caoutchouc; elle livra des produits inférieurs. La qualité des produits diminuant, les applications s'arrêtèrent, les moyens de production dépassèrent la consommation, et beaucoup de fabricants furent amenés à des baisses de prix de vente d'autant plus exagérées, que, sous la première impulsion, la gomme naturelle, dont la production est limitée, avait subi une augmentation de prix en rapport avec la multiplicité de ses emplois.

En présence d'une fabrication peu connue, sans autre garantie que celle de la densité, les consommateurs reçurent des produits n'ayant aucun rapport avec les produits primitifs et en arrivèrent à l'abandon d'une foule d'applications plus heureuses les unes que les autres.

Les seules applications de nécessité absolue ont pu survivre, et il est bien à craindre qu'on cherche néanmoins à en restreindre le nombre, si on ne trouve pas la possibilité de fournir des moyens de contrôle sérieux qui donnent toute sécurité à l'acheteur et lui fassent accepter une élévation du prix des objets fabriqués, en rapport avec l'élévation du prix de la matière première dont le coût moyen est de 7f,50 le kilogramme, depuis plusieurs années.

Le but des explications qui vont suivre est de faciliter l'entrée dans cette voie; l'auteur a vu créer et expérimenter la plupart des applications industrielles du caoutchouc, il en a vu disparaître beaucoup par les motifs précédemment expliqués; cependant il est persuadé qu'on verrait renaître les applications disparues, qu'on verrait même surgir de nouveaux débouchés si on parvenait à ramener ce genre de fabrication à des procédés que lui ont fait abandonner des fabricants ne songeant pas suffisamment à l'avenir de leur industrie.

Origine et propriétés générales du caoutchouc.

Le caoutchouc ou gomme élastique est, d'après M. Payen, un composé d'hydrogène et de carbone. Il se recueille sous forme de suc laiteux exsudant à la suite d'incisions pratiquées à certaines variétés d'arbres

qui croissent à peu près dans toutes les terres intertropicales. Après dessiccation partielle, ce suc nous est expédié sous forme de poires, boules, plaques, blocs, etc., etc..... qui contiennent toujours une forte proportion d'eau et généralement une grande quantité de matières étrangères, terres, bois, résines et autres.

Le caoutchouc naturel arrive dans nos manufactures sous des aspects différents : chaque pays producteur a sa manière particulière de le recueillir, de le sécher et de nous l'expédier.

Si l'aspect est variable suivant les contrées, la qualité l'est encore plus; les gommes de toute provenance, parfaitement débarrassées des matières étrangères qui les accompagnent, possèdent bien les mêmes propriétés physiques et chimiques, mais à des degrés plus ou moins élevés; de là des différences de prix de vente allant du simple au double; ainsi, le prix des gommes d'Afrique étant égal à 1, le prix des gommes du Para est égal à 2 et même 2 1/2. Il faut dire que les gommes d'Afrique donnent au lavage un déchet beaucoup plus considérable; cependant, la différence des déchets est loin de compenser la différence des prix.

Trouver et isoler les principes qui font ainsi varier la qualité des gommes élastiques naturelles avec leur provenance serait un problème bien important et bien lucratif à résoudre; sans doute, la solution pourra en être trouvée lorsque l'industrie du caoutchouc étant plus divulguée, d'habiles chimistes pourront appliquer utilement leurs talents à la recherche de cette question.

Complétement pur, le caoutchouc est solide, blanc; sa densité est de 0,925; à la température moyenne de nos contrées, c'est-à-dire à 15 ou 20 degrés centigrades, il possède une grande élasticité, que lui fait perdre une température inférieure à 0° ou supérieure à 50°; ses surfaces fraîchement coupées se soudent à elles-mêmes avec la plus grande facilité. Il est inattaquable aux alcalis et aux acides les plus concentrés; cependant, il est détruit par l'acide nitrique et l'acide sulfurique bouillants ou à froid par un mélange de ces deux acides. Il est plus ou moins soluble dans la térébenthine, les huiles de houilles liquides, l'éther sulfurique, le sulfure de carbone et tous les corps gras.

Caoutchouc normal.

A l'origine de cette industrie, le caoutchouc était manufacturé et employé à l'état *normal*. On le découpait en lanières, en fils, on l'étirait en feuilles; avec ces lanières ou feuilles on confectionnait des tubes et autres objets analogues qui tous possédaient les propriétés précédemment énoncées. Malgré tous leurs avantages, ces divers objets avaient l'inconvénient de durcir au froid et de se ramollir à la chaleur. Ce fait

restreignait beaucoup les emplois du caoutchouc et ses usages n'auraient jamais atteint un grand développement si la découverte de la vulcanisation n'était venue leur ouvrir des voies nouvelles et inattendues.

Le caoutchouc à l'état *normal* étant très-peu employé, il est surtout important de l'étudier à l'état *vulcanisé.*

La première préparation à faire subir aux caoutchoucs de toutes provenances consiste dans des lavages; elle s'effectue généralement en les faisant passer entre deux cylindres en fonte, qui ont une vitesse différente et sont arrosés par un fort courant d'eau. La différence de vitesse des cylindres produit un déchirement du caoutchouc, elle expose successivement toutes ses particules à l'action du courant d'eau, les impuretés adhérentes sont entraînées, et au lieu des feuilles unies que donnerait un laminage ordinaire, on obtient des bandes granulées et persillées, éminemment propres à la dessiccation subséquente, qui doit en enlever non-seulement les eaux de lavage, mais aussi les eaux d'interposition renfermées dans le caoutchouc, tel qu'il nous arrive.

La dessiccation se fait dans des étuves chauffées à une température allant de 20° à 50°, suivant la nature des gommes. Le déchet qui résulte du lavage et du séchage (il est de toute importance que ce dernier soit bien complet) est en moyenne :

De 12 0/0 pour les gommes Para, qualités dites sèches et fines;

De 18 à 25 0/0 pour les sortes intermédiaires;

De 30 à 48 0/0 pour les sortes inférieures.

On continue la préparation du caoutchouc en le soumettant à une série de triturations et de malaxages; ils peuvent s'effectuer par le passage du caoutchouc seul dans des appareils broyeurs puissants ou par le passage dans des appareils analogues, mais de moindre importance, du caoutchouc préalablement dissous dans des essences, benzine ou sulfure de carbone.

Ces triturations et malaxages ont un double but; ils augmentent les propriétés adhésives du caoutchouc naturel et ils l'amènent à l'état demi-pâteux nécessaire à son étirage en feuilles ou à son application sur les tissus.

L'étirage en feuilles ou l'application sur tissus se fait, soit à l'aide de fortes calandres dont les cylindres peuvent être chauffés par un courant de vapeur, soit à l'aide de machines à étendre.

La feuille, caoutchouc pur ou caoutchouc étendu sur tissus, est le point de départ de tous les objets que comporte la fabrication; par des façonnages simples, qu'il serait long et inutile d'indiquer, elle prend toutes les formes réclamées par les besoins de cette industrie, fils vulcanisés, vêtements, courroies, tuyaux, clapets, jouets d'enfants, etc., etc. Ces divers produits sont vulcanisés après confection et livrés au commerce.

Vulcanisation du caoutchouc.

Si on mélange d'une façon intime une proportion déterminée de fleur de soufre à une quantité voulue de caoutchouc convenablement lavé, séché et malaxé, si on place le produit ainsi obtenu ou l'objet qui en dérive dans des conditions telles qu'il y ait cristallisation du soufre, une transformation complète s'opère; le produit était mou et cassant, il devient tenace et élastique; il était adhésif, se soudait à lui-même et se dissolvait facilement dans les essences, il ne se soude plus et il est complétement insoluble dans tous ses dissolvants connus; enfin, il se durcissait au froid et se ramollissait à la chaleur, il conserve son élasticité depuis la température la plus basse jusqu'à la température la plus voisine de son point de décomposition, qui est à peu près 180° centigrades.

Le caoutchouc ainsi transformé a reçu le nom de caoutchouc vulcanisé; et le nom de vulcanisation a été donné à la période de la fabrication pendant laquelle a lieu cette transformation si remarquable.

La vulcanisation produit-elle une combinaison chimique entre le soufre et le caoutchouc, ou les propriétés qu'elle communique au caoutchouc sont-elles simplement le résultat de l'interposition et de la cristallisation du soufre dans ses pores? On est obligé de recourir simultanément à ces deux hypothèses si on veut expliquer tous les faits qui se produisent pendant et surtout après la vulcanisation.

Lorsque les objets à vulcaniser sont d'une faible épaisseur, $0^m,001$ à $0^m,001$ 1/2 au plus, la vulcanisation peut avoir lieu en même temps que l'introduction du soufre; il suffit de plonger ces objets dans un dissolvant du caoutchouc, susceptible d'être mélangé à un composé sulfuré qui se décompose facilement en abandonnant du soufre libre, comme un mélange de deutochlorure de soufre et de sulfure de carbone ou un mélange de benzine de houille et de bisulfure d'hydrogène. Pendant l'immersion, le dissolvant gonfle le caoutchouc et pénètre dans ses pores où il entraîne le composé sulfuré; on retire après quelques instants, toujours très-courts, et on laisse évaporer; de cette évaporation résulte l'abandon du soufre par son dissolvant, sa cristallisation, et par suite la vulcanisation du caoutchouc.

Une autre méthode consiste à exposer l'objet à vulcaniser dans un bain de soufre fondu dont la température peut aller de 125° à 150° centigrades.

Ces deux procédés ont l'inconvénient de ne pouvoir être appliqués qu'à des objets de dimensions restreintes; de plus, leur exécution est délicate, elle exige une très-grande habileté de la part de l'ouvrier qui en est chargé; aussi sont-ils très-peu employés et d'une importance insignifiante, en comparaison du procédé consistant à introduire le

soufre en le mélangeant mécaniquement pendant les triturages et malaxages que le caoutchouc a dû préalablement subir. On fait la feuille, on en tire l'objet à produire, sans s'inquiéter de la présence du soufre, et après confection on le porte dans des chaudières autoclaves chauffées par la vapeur ou dans des étuves à air chaud, ou dans des bains liquides dont la température peut être supérieure à 112° centigrades, point de fusion du soufre.

Les explications qui précèdent font comprendre que dans le phénomène de la vulcanisation il y a pour une même quantité de caoutchouc trois variables dépendantes : le poids du soufre à introduire, la température et la durée de la vulcanisation.

L'action du soufre sur le caoutchouc ne donnant pas naissance à une combinaison définie, si même il y a combinaison, on ne saurait, dans l'état actuel de cette industrie, formuler de règles précises sur la relation de ces trois variables; on ne peut que dire, d'une façon générale, qu'il faut mettre le moins de soufre possible (la quantité peut en être bien réduite), élever la température aussi peu que possible au-dessus du point de fusion du soufre, et par suite prolonger la durée de l'opération autant que peut le permettre une fabrication pratique.

Il est non moins difficile d'indiquer les caractères permettant de reconnaître, aussitôt sa vulcanisation effectuée, si un objet est bien ou mal vulcanisé. Une grande habitude de ce genre de fabrication donne bien à l'homme qui la possède certains indices indéfinissables : cependant, quoique très-sérieux, ces indices n'offrent pas la certitude rigoureuse qu'exige l'importance du sujet. La vulcanisation est le couronnement de la fabrication du caoutchouc, elle en est aussi l'opération la plus délicate et la plus sérieuse; faite dans de bonnes conditions, toutes choses égales d'ailleurs, elle donne à un objet caoutchouc son maximum de qualité; faite dans de mauvaises conditions, elle paraît bien les premiers jours lui avoir communiqué les mêmes propriétés, mais ces propriétés disparaissent promptement, et après quelque temps le caoutchouc perd son élasticité, il devient dur et cassant, il se gerce et se fendille sous le moindre effort. Il faut ajouter qu'un objet caoutchouc mal vulcanisé perd toute valeur vénale. On ne peut en tirer qu'un seul parti, celui de l'incorporer à du caoutchouc normal en le soumettant à de nouveaux malaxages, et d'en façonner des objets dans lesquels il joue toujours le rôle de matière inerte, souvent celui de matière nuisible.

La découverte de l'influence du soufre sur le caoutchouc normal était due au hasard qui, pendant un certain temps, a été le seul guide des premiers fabricants; ensuite, pour chaque provenance de caoutchouc on a combiné de toutes les façons pratiquement possibles les trois variables, soufre, température, durée; on a fait des échantillons soigneusement conservés et examinés après plusieurs années, cet examen a fait voir quelles étaient les combinaisons auxquelles il y avait lieu de s'ar-

réter en indiquant les produits qui avaient conservé toutes leurs propriétés primitives, et il n'y a plus eu qu'à suivre aveuglément les procédés trouvés satisfaisants.

Si, d'une part, on pense aux nombreuses provenances de la gomme naturelle; si, d'une autre part, on calcule toutes les combinaisons que peuvent donner trois variables, on comprend la multiplicité des préparations du caoutchouc, on comprend aussi tous les secrets dont cette fabrication est encore entourée; chaque fabricant tenant naturellement à garder pour lui la combinaison heureuse qu'il a pu découvrir.

Matières diverses mélangées au caoutchouc.

Le caoutchouc, pendant les triturations et malaxages précédant la fabrication de la feuille, peut, outre le soufre nécessaire à sa vulcanisation, recevoir comme mélanges accessoires les produits les plus divers. L'emploi de ces produits est amené, soit par des nécessités de fabrication, soit par la condition d'arriver à un prix de revient inférieur à celui du caoutchouc pur.

Dans le dernier cas, on se sert généralement des débris du caoutchouc déjà vulcanisé ou des caoutchoucs vulcanisés hors d'usage. Ces débris sans valeur sont, à l'aide de machines puissantes, réduits en pulpe très-fine et peuvent être mélangés au caoutchouc normal dans des proportions indéfinies. Ils défient la balance hydrostatique et l'analyse la plus minutieuse, ils permettent aux fabricants de dire avec une certaine apparence de raison qu'ils livrent du caoutchouc pur et donnent des objets dont l'élasticité et la ténacité sont d'autant plus réduites qu'ils ont été employés en plus forte proportion. On a bien cherché à atténuer leur effet en essayant d'opérer préalablement leur *dévulcanisation*, c'est-à-dire en les soumettant à des réactions dont le but serait de détruire l'action du soufre et de reconstituer le caoutchouc normal; mais malgré des recherches très-sérieuses, dont il est inutile de démontrer l'importance, personne n'a complétement atteint ce résultat; on a décomposé le caoutchouc, on en a fait un produit ayant comme mélange un peu plus de valeur que nos bitumes minéraux convenablement épurés, on ne l'a pas dévulcanisé et, quel que soit son état, il n'en reste pas moins le corps se prêtant le plus facilement à la falsification du caoutchouc pur, et par suite le plus grand ennemi d'une bonne fabrication.

Les matières étrangères que réclament les nécessités de fabrication sont généralement des sels terreux ou des sels métalliques. Elles sont inertes, et on peut appeler ainsi celles qui, à la température de la vulcanisation, n'exercent aucune action chimique sur le soufre mélangé au caoutchouc; ou elles sont actives, c'est-à-dire peuvent à cette même

température former des sulfures se produisant dans la masse de l'objet à vulcaniser dont chacun des pores devient une sorte de laboratoire.

Les matières inertes sont introduites dans le caoutchouc pour lui donner certaines colorations plus satisfaisantes à l'œil que ne l'est sa couleur naturelle; dans ce cas se trouvent le blanc de zinc, le noir de fumée, le vermillon, etc., etc..... ou bien lorsqu'il y a lieu de réduire l'élasticité qui serait trop *sensible* si le caoutchouc était complétement pur : ce résultat peut être obtenu, soit par l'adjonction de craie, talc, kaolin, soit par l'adjonction de débris textiles convenablement broyés.

Le but des matières actives est de faciliter la vulcanisation; elles sont principalement employées lorsque le caoutchouc doit être appliqué sur des tissus qu'il est destiné à préserver ou à réunir. La combinaison de ces matières actives, avec partie du soufre mélangé au caoutchouc, s'effectuant dans toute la masse de l'objet à vulcaniser y produit un dégagement de chaleur intime qui simplifie le travail dû à la vulcanisation et permet d'en réduire beaucoup la température et la durée, conditions éminemment propres au maximum de conservation possible des tissus. Les sels de plomb se trouvant facilement dans le commerce à un prix relativement faible, de plus leur affinité pour le soufre étant très-grande, ce sont ceux auxquels on donne le plus souvent la préférence.

On se sert également de chaux fusée ou de magnésie calcinée; l'adjonction de ces deux corps doit toujours être faite à bien faible dose; leur rôle principal est d'empêcher les trous ou piqûres produites par la vapeur de soufre dans certaines préparations contenant une forte dose de mélange ou dans des préparations pures, mais trop travaillées.

On est arrivé, en appliquant l'action réciproque du soufre et des sels métalliques pendant la vulcanisation, à l'emploi de certains polysulfures mal définis, préparés de façon à contenir du soufre libre précipité lors de leur formation. Dans ce cas se trouvent le soufre doré d'antimoine, qui donne la préparation de caoutchouc, connue sous le nom de caoutchouc *minéralisé*, et des sursulfures de plomb dont la composition correspond à celle du soufre doré. Ces sels sont d'une préparation difficile et coûteuse, et leur prix très-élevé fait que, au point de vue commercial, il n'y a aucun intérêt à les employer dans des produits de qualité secondaire; de là, les propriétés spéciales qu'on leur a généralement attribuées, propriétés qui tiennent avant tout à la belle qualité du caoutchouc toujours employé dans ces sortes de mélanges.

La conclusion des observations qui précèdent, sur la vulcanisation et sur les matières mélangées, serait que le consommateur est à peu près à la merci du producteur et que cette fabrication est avant tout une question de confiance et de bons procédés mutuels. Certainement, dans la plupart des cas, il doit bien en être ainsi; mais si l'analyse chimique est impuissante, si une très-grande habitude de ce genre de produits ne donne pas des garanties beaucoup plus sérieuses, il est des moyens mé-

caniques à la portée de tout le monde, moyens indiqués par les applications mêmes du caoutchouc et qui, bien appliqués, permettent de reconnaître immédiatement si un objet caoutchouc, quelle que soit sa préparation, peut ou non atteindre le but que l'on se propose : là est toute la question industrielle.

Les applications du caoutchouc, examinées à ce point de vue, peuvent se partager en trois grands groupes :

Dans le premier groupe on utilise principalement l'élasticité, la malléabilité et la ténacité du caoutchouc ; exemples : fils, clapets de pompes et de condenseurs, tampons de choc, rotules, couvertes de papeteries, joints de toute nature, etc., etc.....

Dans le second groupe on utilise sa résistance aux divers agents chimiques, tuyaux pour laboratoires, pour chirurgie, pour conduites de gaz d'éclairage, pour fabriques de produits chimiques, etc., etc.....

Dans le troisième groupe, à l'emploi de l'élasticité, de la ténacité du caoutchouc et de sa résistance aux agents chimiques, vient s'ajouter en première ligne l'utilisation de ses propriétés adhésives, qui font qu'appliqué sur des tissus de toute nature il permet de les découper, de les réunir sous toutes formes et d'en confectionner des vêtements imperméables, des tuyaux pouvant résister aux pressions les plus élevées, des courroies de transmission, etc., etc.....

Premier Groupe.

Les objets en caoutchouc rangés dans le premier groupe sont généralement, pendant leur emploi, soumis à des allongements et à des retraits alternatifs, ou à des efforts de compression, qui cessent après une durée plus ou moins longue. L'effet des allongements et retraits souvent répétés est de produire des déchirures et, par suite, la mise hors d'usage ; l'effet des efforts de compression est de donner lieu à des déformations que ne peut regagner le caoutchouc, s'il n'a pas une élasticité convenable ou s'il a eu à supporter une charge au delà des limites possibles. L'étude de ces objets, ou la constatation de leurs qualités, revient donc à les soumettre à des épreuves qui en indiquent l'élasticité et la ténacité, comparativement à l'élasticité et à la ténacité de produits similaires, dont la qualité correspondrait au maximum qu'on peut obtenir avec du caoutchouc de première provenance, parfaitement pur, et vulcanisé au point de conserver indéfiniment les propriétés constatées lors des expériences. On ne saurait à cet égard donner une étude plus sé-

rieuse, plus authentique et mieux comprise, que le programme suivant des épreuves adoptées par la marine de l'État.

Ces épreuves sont les suivantes :

1° *Épreuve de la chaleur humide.* — Elle consiste à découper dans les feuilles ou plaques caoutchouc des échantillons qui sont mis dans l'eau d'une chaudière à vapeur, à 5 atmosphères, et doivent y séjourner quarante-huit heures.

Le caoutchouc doit subir l'épreuve de la chaudière sans perdre sa souplesse.

2° *Essais des clapets bouillis*, c'est-à-dire ayant subi l'épreuve de la chaleur humide ci-dessus indiquée.

Les clapets bouillis, mis sur le grillage d'une boîte à clapets, où ils fonctionnent sous une surcharge de $3^k,500$ par centimètre carré de surface, doivent supporter 9100 coups, à raison de cent coups par minute au maximum.

3° *Essais des clapets non bouillis.* — Dans les conditions de pression et de travail énoncées au précédent paragraphe, les clapets non bouillis doivent supporter 17100 coups.

4° *Essais des lanières bouillies.* — Des lanières bouillies (épreuve de la chaleur humide), à section carrée de $0^m,020 \times 0^m,020$ et au-dessus, sont coupées de façon à avoir $0^m,200$ longueur, entre deux amarrages auxquels sont fixées chacune de leurs extrémités ; on leur donne un allongement préalable de $0^m,100$; elles doivent, sans se rompre, résister vingt-deux fois par minute à un allongement alternatif de $0^m,200$, sans compter l'allongement préalable :

Pendant vingt-quatre heures, pour les sections comprises entre

$$0^m,020 \times 0,^m020 \text{ et } 0^m,015 \times 0^m,015;$$

Pendant vingt-six heures, pour les sections comprises entre

$$0^m,015 \times 0^m,015 \text{ et } 0^m,010 \times 0^m,010.$$

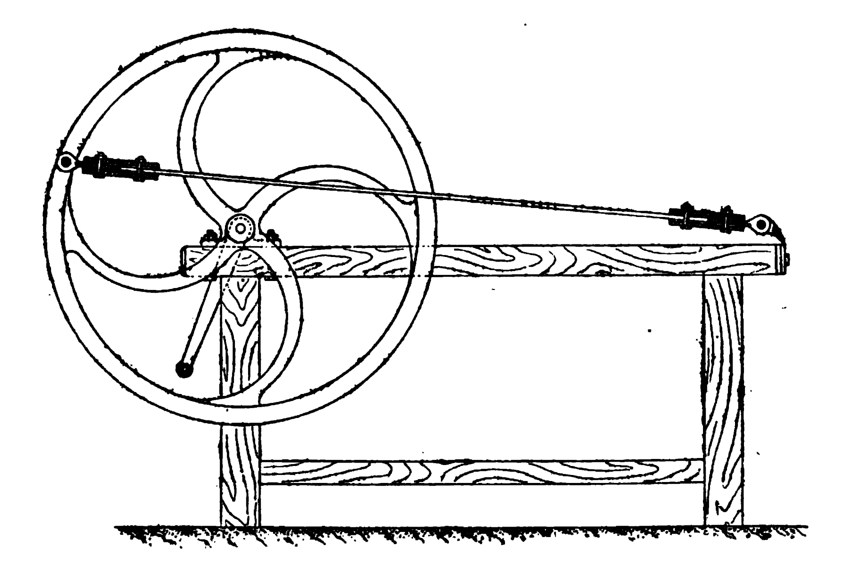
5° *Essais des lanières non bouillies.* — Dans les mêmes circonstances, les lanières non bouillies doivent supporter les mêmes allongements pendant cent heures.

6° *Épreuves des tuyaux purs.* — Les tuyaux purs non bouillis, de $0^m,200$ longueur, pleins d'huile à graisser, ayant subi un allongement préalable de $0^m,100$, devront, sans se rompre, être allongés de $0^m,200$, sans compter l'allongement préalable pendant cinquante-deux heures.

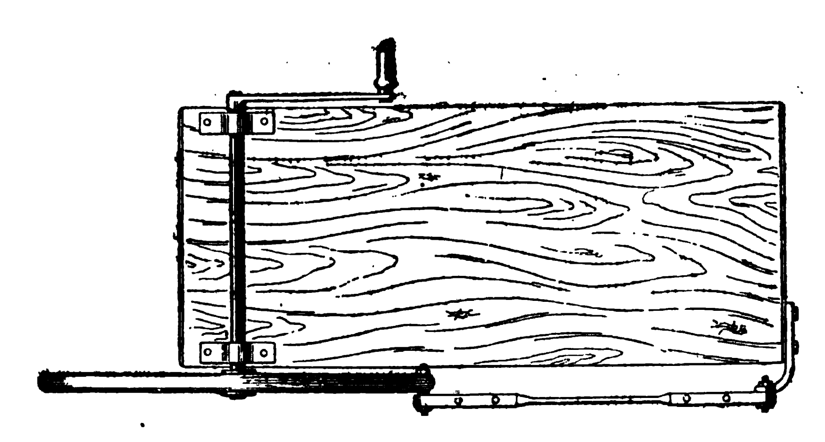
Il est inutile d'indiquer comment on peut organiser les épreuves

d'allongements alternatifs, soit à l'aide d'un tour, soit à l'aide d'une machine à raboter. Ces sortes d'expériences ne présentent qu'un inconvénient, celui d'exiger un temps assez long. On peut en abréger beaucoup la durée par l'emploi de l'appareil et des moyens d'essai ci-après indiqués :

L'appareil comprend deux mâchoires, composées d'une bande de fer plat médiane d'une longueur de 0m,100, d'une largeur de 0m,030 et d'une



épaisseur un peu moindre que celle des feuilles dont on veut constater la qualité. Cette bande est recouverte de chaque côté par deux autres



bandes également en fer, ayant une longueur double, même largeur, et une épaisseur de 0m,005 environ. Deux boulons servent à réunir les

trois bandes entre elles et permettent l'attache d'une bande caoutchouc.

L'une des mâchoires peut être amarrée à un volant portant maneton, ou à une manivelle montée sur le plateau d'un tour; l'autre est attachée à un axe fixe quelconque, ou, si l'on préfère, on cale le volant sur un petit arbre pouvant être mu par une manivelle à main, et on installe le tout sur une table ou un établi.

Étant donnée la feuille dont on veut constater la qualité, on commence par en détacher une lanière à section carrée dont le côté est égal à l'épaisseur de la feuille et dont la longueur est de $0^m,300$, non comprise la partie nécessaire aux attaches; on la termine par deux queues d'hironde qui ont pour largeur plus grande la largeur des mâchoires, soit $0^m,030$, et pour longueur $0^m,100$ au moins: cette longueur, relativement très-grande, a pour but d'empêcher le glissement de la bande caoutchouc dans les mâchoires, sans qu'il y ait lieu de donner un très-fort serrage; recouvrant ensuite les deux parties coupées en queues d'hironde avec une petite feuille caoutchouc ordinaire de 1 1/2 $^m/_m$ à 2 $^m/_m$ d'épaisseur, on les engage entre les mâchoires et on ferme les boulons, assez pour que le frottement soit suffisant et empêche l'arrachement de la bande, pas assez pour qu'elle soit coupée par un excès de serrage; puis on amarre les deux mâchoires, comme il a été dit, l'une à un maneton calé à la circonférence d'un volant, l'autre à un axe fixe, en réglant leur distance de telle façon que dans sa position la moins tendue la longueur de la bande non fermée par les mâchoires soit égale à quatre fois sa longueur primitive, soit $1^m,200$; de plus, on donne au volant, ou mieux à la circonférence décrite par le maneton, le diamètre nécessaire à doubler l'allongement initial, soit $1^m,200$, ce qui porte à $2^m,400$, ou à huit fois la longueur première, l'allongement se produisant à chaque révolution du volant, et, tout étant ainsi disposé, on imprime au volant un mouvement de rotation à raison de 20 à 25 tours par minute.

Dans ces conditions, des bandes en caoutchouc de première provenance, si elles sont parfaitement pures et vulcanisées, au point de conserver indéfiniment leur élasticité et leur ténacité premières, cassent après 180 à 200 révolutions, c'est-à-dire après 180 à 200 allongements alternatifs se produisant dans le rapport de 1 à 8.

Les bandes tirées de feuilles ou clapets également exempts de tout mélange, mais fabriqués avec des caoutchoucs de qualité secondaire, cassent après 50 à 60 allongements alternatifs.

Les caoutchoucs de dernière provenance, ou les caoutchoucs contenant comme mélange, même à très-faible dose, soit des matières minérales, soit des débris de caoutchouc vulcanisé pur, ne donnent aucun résultat.

D'après cela, la valeur et l'usage d'un produit caoutchouc élastique

de première provenance étant fixés, on pourra toujours se rendre compte de la valeur et de l'usage relatifs d'un produit caoutchouc élastique quelconque, en modifiant dans une lanière tirée de ce dernier produit la longueur de l'allongement total par rapport à la longueur initiale, au point de l'amener à lui faire supporter 180 révolutions, et la proportion des allongements donnera la proportion des qualités, et, par suite, des valeurs vénales. Lorsque le consommateur aura besoin des meilleurs caoutchoucs possibles, il lui sera facile d'en contrôler la qualité; si au contraire les applications qu'il veut faire peuvent être satisfaites par des produits secondaires, les expériences indiquées lui permettront d'apprécier exactement les diverses préparations que les fabricants lui offriront à des prix bien inférieurs à ceux que comporte un excellent caoutchouc.

Deuxième Groupe.

Les applications du caoutchouc élastique les plus importantes que comporte le second groupe sont les tuyaux pour gaz d'éclairage, et les tuyaux pour chirurgie et fabriques de produits chimiques. Les tuyaux à gaz doivent être légèrement mélangés de matières minérales, l'expérience ayant démontré qu'à égalité d'épaisseur, un même tuyau caoutchouc se laisse traverser plus facilement par le gaz d'éclairage, lorsqu'il est complétement pur. Les tuyaux pour fabriques de produits chimiques sont faits en caoutchouc, parce que ce corps à l'état de pureté est le seul agent facilement maniable qui résiste, dans de bonnes conditions, à diverses manipulations qu'entraîne la fabrication sur une grande échelle de certains composés chimiques. Il est évident que plus les objets en caouchouc employés seront purs et de bonne fabrication, plus leur durée sera longue et plus le fabricant de produits chimiques aura d'intérêt à les employer, quel qu'en soit le prix. Ils retombent ainsi dans la catégorie des objets qui doivent être purs, élastiques et de première provenance; on pourra en contrôler la valeur par le procédé indiqué pour les feuilles.

Troisième Groupe.

J'ai indiqué le principe sur lequel repose l'emploi du caoutchouc dans la fabrication des objets qui composent le troisième groupe : utilisation des propriétés isolantes du caouchouc, utilisation de ses propriétés adhésives. J'ai expliqué pourquoi la difficulté de vulcaniser le caoutchouc, sans trop altérer les tissus, forçait à recourir à l'emploi de pré-

parations mélangées; aller au delà serait entrer dans des détails de confection peu importants à connaître : aussi laisserai-je de côté la fabrication des vêtements imperméables, des chaussures, des tuyaux d'aspiration et de refoulement, et me bornerai-je à examiner seulement la question des courroies de transmission en toile et caoutchouc vulcanisé, dont l'importance tend à devenir de plus en plus grande, par suite de la hausse croissante des cuirs.

Courroies de transmission.

Les courroies de transmission sont en toile et caoutchouc. Le caoutchouc ne peut être employé seul, son élasticité ou l'extension qu'il est susceptible de prendre, même sous un faible effort, étant toujours relativement très-grande.

Ces courroies se font en repliant sur eux-mêmes, dans des conditions de longueur, largeur et épaisseur, résultant de l'effort à transmettre, de très-forts tissus préalablement enduits d'une préparation spéciale de caoutchouc.

Par ses propriétés adhésives, le caoutchouc fait corps avec le tissu; par cette même cause, des tissus en nombre quelconque peuvent faire corps entre eux, sous l'effet d'une simple superposition, et, après la vulcanisation qui suit le façonnage, donner, quelles que soient la longueur, la largeur et l'épaisseur, un tout d'une homogénéité comparable à celle du cuir le mieux corroyé.

Le calcul des dimensions à donner aux courroies de transmission, étant connues les conditions de l'effort à transmettre, est basé sur la connaissance de deux valeurs : le coefficient de frottement et la résistance par millimètre carré de section.

J'ai déterminé le coefficient de frottement en me servant de la formule générale qui donne le frottement d'une corde ou d'une courroie sur un cylindre fixe :

$$T = t \times e^{\frac{fs}{r}} \text{ ou } \log. T = \log. t. + \log. e \times \frac{fs}{r} \qquad (1)$$

$$\log. T = \log. t + 0{,}4343\, \frac{fs}{r}.$$

J'ai pris des poulies en fonte de convexités, largeurs et diamètres différents; puis, expérimentant préalablement avec des courroies en cuir, je me suis placé dans des conditions d'expériences telles, qu'en me donnant une série de valeur t, force qui s'oppose au glissement, qu'en mettant dans les formules ci-dessus les valeurs correspondantes trouvées

par expérience de T, force susceptible de produire le glissement, l'équation soit satisfaite en donnant à f, coefficient de frottement, la valeur de 0,28, qu'indique le général Morin pour coefficient de frottement de courroies en cuir à l'état ordinaire d'onctuosité, frottant sur tambours ou poulies en fonte. Certain d'être dans des conditions normales, j'ai expérimenté des courroies en caoutchouc, j'ai donné successivement t les mêmes valeurs, j'ai substitué les valeurs correspondantes de T qu'indiquaient les expériences; et, tout étant connu dans l'équation (1) sauf f, il m'a été facile d'en déduire la valeur pour chaque épreuve.

J'ai trouvé que la valeur de f était au minimum de 0,42 et qu'elle pouvait être poussée jusqu'à 0,84 sans mettre extérieurement aux courroies une épaisseur de caoutchouc exagérée, qui en aurait augmenté le prix sans en augmenter la résistance et l'usage. La valeur minimum de f se présente pour les courroies caoutchouc et toile sans gomme à l'extérieur, dites *Extérieur tissu*. Sur une même poulie la valeur de f augmente avec l'épaisseur et la souplesse du caoutchouc placé extérieurement au tissu; cependant, si l'épaisseur ou la souplesse étaient exagérées, la résistance au glissement devenant très-grande, elle pourrait avoir pour effet de séparer de la toile la couverture caoutchouc.

Sur des poulies de formes diverses, la valeur maximum de f a lieu pour des poulies légèrement convexes et présentant des aspérités produites, soit par un tournage à grain un peu gros, soit par des soufflures à la fonte. Cette valeur descend à 0,42 lorsque les poulies sont cylindriques et parfaitement tournées et polies; l'inverse se produit pour les courroies en cuir, qui donnent à f une valeur d'autant plus grande qu'elles fonctionnent sur des poulies plus unies et cylindriques.

La présence des corps gras exerce également sur les courroies caoutchouc et toile une action contraire à celle qu'elle exerce sur les courroies cuir. En recouvrant les premières d'un léger vernis composé de moitié suif moitié huile d'olive fondus ensemble, on augmente la valeur de f, qui diminue beaucoup dans les courroies en cuir au fur et à mesure que par le travail elles deviennent graisseuses.

La résistance à la traction des courroies caoutchouc et toile dépend de la nature du tissu employé et de la préparation de caoutchouc dont il est recouvert. Ainsi qu'il a été expliqué, cette dernière, dont l'unique rôle est de réunir plusieurs tissus, doit être très-adhésive, et doit en même temps pouvoir se vulcaniser très-promptement et à une basse température, afin que l'homogénéité soit plus parfaite et que la vulcanisation altère le moins possible la qualité des toiles; quant au choix des tissus, il faut naturellement prendre des tissus coton, qui sont moins altérables à la chaleur que les tissus chanvre, et donner la préférence à ceux dont le tissage est plus régulier. Les expériences qui vont suivre ont été faites sur des tissus fabrication anglaise. La consommation des courroies en caoutchouc et toile a pris en Angleterre un développement

qu'elle n'a pas en France; cette circonstance spéciale, jointe aux immenses débouchés dont disposent nos voisins, a pu permettre la création dans cette contrée de tissages très-importants, voués à peu près exclusivement à la préparation des tissus pour courroies toile et caoutchouc : aussi ces établissements ont-ils atteint pour cet article une perfection dont sont encore bien loin les divers tisseurs français, qui n'ont pas une consommation suffisante, et n'ont pu jusqu'à ce jour faire comme leurs concurrents d'outre-Manche les frais d'installation que nécessiterait cette spécialité[1].

L'unité adoptée a été le millimètre carré de section : ce choix rend plus facile la comparaison avec les courroies en cuir, dont la résistance est généralement évaluée de cette façon ; de plus, en prenant pour unité, comme il semblerait naturel de le faire, le centimètre de largeur de toile employée, on laisserait de côté l'épaisseur du caoutchouc, qui n'agit pas comme corps résistant et dont l'emploi fait en excès peut augmenter considérablement le prix d'achat, sans pour cela donner de meilleurs résultats.

Les expériences ont été faites en se servant de mâchoires en fer semblables à celles précédemment indiquées pour l'essai des lanières. Leurs dimensions avaient été augmentées proportionnellement à la largeur des courroies, dont elles devaient embrasser chaque extrémité sur une longueur de 0m,600, longueur nécessaire et suffisante pour s'opposer au glissement des courroies dans leurs attaches sans qu'il y eût lieu de recourir à un serrage trop fort. On avait, comme dans l'essai des feuilles, entre chaque face de la courroie et les platines des mâchoires, interposé une feuille caoutchouc pur, de largeur égale à celle de la courroie, et de 0m,004 d'épaisseur. Cette disposition a permis d'arriver à ce que la rupture ne se produise jamais dans les parties serrées dans les mâchoires.

L'une des mâchoires était fixée au crochet d'une grue, l'autre tenait suspendue une forte caisse en bois pouvant recevoir la ferraille nécessaire à l'obtention des poids successifs. L'emploi de la grue, en facilitant la manœuvre de la caisse, même sous des poids considérables, permettait de se rendre compte à chaque instant des allongements permanents.

Pour obtenir la mesure des allongements, aussi exactement que possible, avec les moyens dont je disposais, j'avais arrêté sur la courroie, en la fixant par une de ses extrémités, une règle en bois de 2m,500 longueur sur 0m,100 largeur et 0m,030 épaisseur; l'autre extrémité de la règle était libre et venait butter contre une platine en bois, également

1. Cependant il est juste de dire que depuis quelque temps une maison de tissage fort importante, établie en France, et s'occupant spécialement de la fabrication des divers tissus destinés à l'industrie du caoutchouc, a porté son attention sur la préparation des canevas coton exigés par les courroies toile et caoutchouc; elle est bien près du but, et j'espère bien qu'avant peu ses persévérants efforts seront couronnés d'un plein succès, nous exonérant du tribut que nous payons forcément aux tisseurs anglais.

fixée à la courroie, lorsqu'elle n'avait à supporter d'autre effort de tension que celui dû à son propre poids.

Tout étant ainsi disposé, on commençait à faire subir à la courroie une faible charge se résumant à peu près dans le poids de la caisse et de la mâchoire inférieure, puis on augmentait progressivement la charge par l'addition de ferrailles dans la caisse jusqu'à ce que la rupture s'en suivît : l'écartement entre la platine et l'extrémité libre de la règle, mesuré à l'aide d'un compas à vernier, donnait pour chaque charge l'allongement élastique correspondant; une manœuvre très-simple de la grue conduisait à la mesure de l'allongement permanent.

Les allongements d'une même courroie, dus à chacune des charges successives, étaient mesurés seulement *une heure trente minutes* après la mise en place de la charge : des expériences préliminaires m'ayant démontré la nécessité de ce laps de temps pour que, dans les courroies caoutchouc et toile, l'allongement produit par une même charge soit, à peu de chose près, nul, quelle que fût au delà de ce temps la durée de l'épreuve.

C'est en opérant ainsi qu'ont été obtenus les chiffres donnés par les tableaux suivants, dont les premiers s'appliquent à deux courroies cuir sans coutures, découpées en plein dos de l'animal dans deux cuirs à courroies premier choix.

Cette première expérience, faite avec les mêmes engins, dans des conditions rigoureusement identiques aux conditions employées pour les courroies caoutchouc et toile, était indispensable aux résultats comparatifs qu'il s'agissait d'établir.

COURROIE N° 1. — **Cuir.**

Longueur d'essai........................... = 1m,200
Largeur.................................... = 0m,050
Épaisseur.................................. = 0m,006
Section.................................... = 300 millimètres carrés.

CHARGES totales.	CHARGES par millimètre carré de section.	ALLONGEMENT élastique total.	ALLONGEMENT élastique par mètre.	OBSERVATIONS.
kil.	kil.	millim.	millim.	
50	0,166	66,4	55,3	Après 1h 30' de charge.
143	0,477	124,2	103,5	»
202	0,674	150,0	125	»
261	0,871	181	150	»
320	1,069	197	164	»
379	1,264	215	180	»
438	1,460	230	190[1]	»
497	1,657	249	207	»
556	1,854	265	220	»
625	2,050	280	233	»
674	2,246	Rupture après une heure de tension sous cette dernière charge.		

1. L'expérience a été interrompue pendant 36 heures en déchargeant la courroie et en la laissant au repos.

L'allongement permanent par mètre après rupture a été de 0m,095.

COURROIE N° 2. — **Cuir.**

Longueur d'essai........................... = 1m,200
Largeur.................................... = 0m,050
Épaisseur.................................. = 0m,006
Section.................................... = 300 millimètres carrés.

CHARGES totales.	CHARGES par millimètre carré de section.	ALLONGEMENT élastique total.	ALLONGEMENT élastique par mètre.	OBSERVATIONS.
kil.	kil.	millim.	millim.	
50	0,166	55	45	Après 1h 30' de charge.
143	0,477	108	90	»
202	0,674	135	112	»
261	0,871	156	130	»
320	1,069	179	160	»
379	1,264	199	»	»
488	1,460	216	180	»
497	1,657	237	196	»
556	1,854	258	215	»
625	2,050	275	229	»
674	2,246	Rupture en chargeant.		

Allongement permanent par mètre après rupture = 0m,095.

COURROIE N° 3.— **Caoutchouc et toile** à 2 plis de toile, extérieur caoutchouc.

Longueur d'essai.......................... = 2m,500
Largeur.................................. = 0m,051
Épaisseur................................ = 0m,0035
Section.................................. = 178 millimètres carrés.
Développement de 2 plis de toile............ = 0m,100.
Vulcanisée aux presses.

CHARGES totales.	CHARGES par millimètre carré de section.	CHARGES par centimètre de largeur de toile développée.	ALLONGEMENT élastique total.	ALLONGEMENT élastique par mètre.	OBSERVATIONS.
kil.	kil.	kil.	millim.	millim.	
50	0,280	5,0	42,0	16,8	Après 1h 30' de charge.
85	0,477	8,5	65,4	26,1	»
120	0,674	12,0	83,0	33,2	»
155	0,871	15,5	98,0	39,2	»
190	1,069	19,0	107,5	43,0	Laissé 14h au repos.
225	1,264	22,5	117,6	47,0	Après 1h 30' de charge.
260	1,460	26,0	127,2	50,9	»
295	1,657	29,5	138,3	55,3	»
330	1,854	33,0	149,2	59,6	»
365	2,050	36,5	163,5	65,4	»
400	2,246	40,0	172,0	69,0	»
435	2,443	43,5	180,2	72,0	»
470	2,640	47,0	186,0	74,0	Rupture.

Rupture après 1 heure de charge.
Allongement permanent par mètre mesuré après rupture = 0m,0112.

COURROIE N° 4.— **Caoutchouc et toile** à 2 plis de toile, extérieur caoutchouc.

Longueur d'essai.......................... = 2m,500
Largeur.................................. = 0m,051
Épaisseur................................ = 0m,0035
Section.................................. = 178 millimètres carrés.
Vulcanisée aux presses.
Développement de 2 plis de toile............ = 0m,100.

CHARGES totales.	CHARGES par millimètre carré de section.	CHARGES par centimètre de largeur de toile développée.	ALLONGEMENT élastique total.	ALLONGEMENT élastique par mètre.	OBSERVATIONS.
kil.	kil.	kil.	millim.	millim.	
50	0,280	5	38,3	15,3	Après 1h 30' de charge.
100	0,561	10	70,0	28,0	»
125	0,702	12,5	82,0	32,8	»
150	0,842	15	92,8	37,1	»
150	0,842	15	97,0	39,0	Après 14 heures.
175	0,983	17,5	103,0	41,2	Après 1h 30 minutes.
200	1,129	20	109,5	43,8	»
225	1,264	22,5	117,5	47,0	»
250	1,404	25	125,5	50,2	»
275	1,544	27,5	130,7	52,3	»
300	1,685	30	137,3	55,0	»
325	1,825	32,5	146,0	58,5	»
350	1,966	35	152,8	61,1	»
375	2,106	37,5	157,4	63,0	»
400	2,247	40	163,5	65,4	»
425	2,387	42,5	169,2	67,5	»
450	2,528	45	173,0	69,2	»
475	2,668	47,5	179,2	71,5	»
500	2,808	50	184,0		Rupture.

Rupture sous la dernière charge, après 30 minutes.
Allongement permanent mesuré après rupture = 0m,012.

COURROIE Nº 5. — **Caoutchouc et toile** à 2 plis de toile, extérieur caoutchouc.

Longueur d'essai........................... = 2m,500
Largeur.................................. = 0m,051
Épaisseur................................ = 0m,0028
Section.................................. = 143 millimètres carrés.
Développement de la toile employée.......... = 0m,100.
Vulcanisée aux presses.

CHARGES totales.	CHARGES par millimètre carré de section.	CHARGES par centimètre de largeur de toile développée.	ALLONGEMENT élastique total.	ALLONGEMENT élastique par mètre.	OBSERVATIONS.
kil.	kil.	kil.	millim.	millim.	
50	0,348	5,0	104	41,6	Après 1h 30' de charge.
68	0,477	6,8	140	56	»
96	0,674	9,6	166,5	66,6	»
124	0,871	12,4	189	75,6	»
153	1,069	15,3	207,5	83	»
180	1,264	18,0	225	90	»
208	1,460	20,8	260	105	Après 14 heures.
237	1,657	23,7	268	107	Après 1 heure 30 min.
265	1,854	26,5	283	113	»
293	2,050	29,3	292	117	»
321	2,246	32,1	305	122	»
349	2,443	34,9	312	125	»
377	2,640	37,7	320	128	»
405	2,836	40,5	327	130	»
433	3,032	43,3	335	134	Laissé 14h au repos.
462	3,229	46,2	352	140	Après 1 heure 30 min.
490	3,426	49,0	358	143	»
518	3,622	51,8	360	144	Rupture.

Rupture après 35 minutes de la charge de 3k,622.
Allongement permanent, après rupture = 0m,008.

COURROIE Nº 6.— **Caoutchouc et toile** à 4 plis de toile, extérieur caoutchouc.

Longueur d'essai........................... = 2m,500
Largeur.................................. = 0m,051
Épaisseur................................ = 0m,0075
Section.................................. = 382 millimètres carrés.
Développement de la toile employée.......... = 0m,200.
Vulcanisée à plat.

CHARGES totales.	CHARGES par millimètre carré de section.	CHARGES par centimètre de largeur de toile développée.	ALLONGEMENT élastique total.	ALLONGEMENT élastique par mètre.	OBSERVATIONS.
kil.	kil.	kil.	millim.	millim.	
50	0,130	2,50	55,5	22	Après 1h 30' de charge.
181	0,477	9,50	141	56	»
256	0,674	12,80	167	66	»
331	0,871	16,55	185,5	74	»
406	1,069	20,30	204	80	»
480	1,264	24,00	219,5	88	»
555	1,460	27,75	230,6	94	»
629	1,657	31,45	254	100	»
705	1,854	35,00	274	109	»
780	2,050	39,00	286	114	»
853	2,246	42,65	292	117	»
928	2,443	46,40	308	123	»
1003	2,640	50,00	»	»	Rupture.

Rupture après 1 heure 25 minutes, sous la charge de 2k,640.
Allongement permanent, mesuré après rupture = 0m,008.

COURROIE N° 7.— **Caoutchouc et toile** à 4 plis de toile, extérieur caoutchouc.

Longueur d'essai.......................... = 2m,500
Largeur.................................. = 0m,051
Épaisseur................................ = 0m,0075
Section.................................. = 382 millimètres carrés.
Développement de 4 plis de toile............ = 0m,200.
Vulcanisée aux presses.

CHARGES totales.	CHARGES par millimètre carré de section.	CHARGES par centimètre de largeur de toile développée.	ALLONGEMENT élastique total.	ALLONGEMENT élastique par mètre.	OBSERVATIONS.
kil.	kil.	kil.	millim.	millim.	
50	0,130	2,50	40	16	Après 1h 30' de charge.
181	0,477	9,50	106	42	»
256	0,674	12,80	116,5	46,6	»
331	0,871	16,55	134	53,6	»
406	1,069	20,30	145,2	58	»
480	1,264	24,00	157	62,8	»
555	1,460	27,75	169	67,6	»
629	1,657	31,45	179	71,6	»
705	1,854	35,20	189	75,6	»
780	2,050	39,00	199	79,6	»
854	2,246	42,65	210	84	»
928	2,443	46,40	»	»	Rupture.

Rupture sous la dernière charge de 2k,243, après 1 heure 30 minutes.
Allongement permanent, après rupture = 0m,008.

COURROIE N° 8.— **Caoutchouc et toile** à 6 plis de toile, extérieur caoutchouc.

Longueur d'essai.......................... = 2m,500
Largeur.................................. = 0m,051
Épaisseur................................ = 0m,012
Section.................................. = 600 millimètres carrés.
Développement de 6 plis de toile............ = 0m,300.
Vulcanisée aux presses.

CHARGES totales.	CHARGES par millimètre carré de section.	CHARGES par centimètre de largeur de toile développée.	ALLONGEMENT élastique total.	ALLONGEMENT élastique par mètre.	OBSERVATIONS.
kil.	kil.	kil.	millim.	millim.	
78	0,130	2,5	47	18	Après 1h 30' de charge.
286	0,477	9,5	115,3	46	»
404	0,674	13,5	135,5	56	»
522	0,871	17,4	152	60	»
641	1,069	21,3	164,5	66,6	»
758	1,264	25,2	178	70	»
876	1,460	29,2	187	75	»
994	1,657	33,1	197,4	79	»
1112	1,854	37,0	209,5	84	»
1230	2,050	41,0	222	88,8	»
1347	2,246	44,9	»	»	Rupture.

Rupture après 35 minutes, sous la charge de 2k,246.
Allongement permanent mesuré, après rupture = 0m,008.

COURROIE Nº 9.— **Caoutchouc et toile** à 6 plis de toile, extérieur caoutchouc.

Longueur d'essai............................ = 2m,500
Largeur.................................... = 0m,051
Épaisseur.................................. = 0m,012
Section.................................... = 600
Développement à 6 plis de toile............ = 0m,300.
Vulcanisée à plat.

CHARGES totales.	CHARGES par centimètre carré de section.	CHARGES par centimètre de largeur de toile développée.	ALLONGEMENT élastique total.	ALLONGEMENT élastique par mètre.	OBSERVATIONS.
kil.	kil.	kil.	millim.	millim.	
78	0,130	2,5	42	16,8	Après 1h 30' de charge.
286	0.477	9,5	118	47,2	»
404	0,674	13,5	148	59,6	»
522	0,871	17,4	168	67,6	»
641	1,069	21,3	189	75,6	»
758	1,264	25,2	202	80	»
876	1,460	29,2	215	86	»
994	1,657	33,1	227	90	»
1112	1,854	37,0	244	97,6	»
1230	2,050	41,0	253	100	»
1347	2,246	44,9	265	110	»
1465	2,443	48,8	»	»	Rupture.

Rupture en mettant la charge de 2k,443.
Allongement permanent par mètre, après rupture = 0m,007.

COURROIE Nº 10.— **Caoutchouc et toile** à 4 plis de toile, extérieur caoutchouc.

Longueur d'essai............................ = 2m,500
Largeur.................................... = 0m,0975
Épaisseur.................................. = 0m,007
Section.................................... = 682 millimètres carrés.
Développement de 4 plis de toile........... = 0m,400.
Vulcanisée aux presses

CHARGES totales.	CHARGES par centimètre carré de section.	CHARGES par centimètre de largeur de toile développée.	ALLONGEMENT élastique total.	ALLONGEMENT élastique par mètre.	OBSERVATIONS.
kil.	kil.	kil.	millim.	millim.	
90	0,132	2,25	46	18,4	Après 1h 30' de charge.
325	0,477	8,10	84	33,6	»
459	0,674	11,50	101	40,4	»
594	0,871	14,80	117,5	47	»
729	1,069	18,20	132	52,8	»
862	1,264	21,50	144,5	57,8	»
996	1,460	24,90	155	62	»
1130	1,657	28,20	165,5	66,2	»
1264	1,854	31,60	173,8	69,5	»
1398	2,050	34,90	187	74,8	»
1542	2,246	38,50	200	80	»
1666	2,443	41,60	208,7	83,2	»
1800	2,640	46,00	»	»	Rupture.

Rupture après 15 minutes, sous la charge de 2k,640.
Allongement permanent par mètre mesuré, après rupture = 0m,012.

Tableau récapitulatif.

NUMÉROS.	DÉSIGNATION DES COURROIES.	CHARGE de rupture par millimètre carré de section.	CHARGE de rupture par centimètre de largeur de toile.	ALLONGEMENT PAR MÈTRE. Sous une charge de $0^k.250$ par mill. carré de section.		Sous la charge précédant la rupture.	
				Élastique.	Permanent.	Élastique.	Permanent.
		kil.	kil.	m.	m.	m.	m.
1.	Cuir..............	2.246		0.107	0.022	0.233	0.095
2.	Cuir..............	2.246		0.094	0.022	0.275	0.095
3.	Caoutchouc et toile..	2.640	47.0	0.027	0.002	0.074	0.011
4.	Id..........	2.808	50.0	0.029	0.002	0.071	0.012
5.	Id..........	3.622	51.8	0.058	0.002	0.144	0.008
6.	Id..........	2.640	50.0	0.058	0.002	0.123	0.008
7.	Id..........	2.443	46.4	0.043	0.002	0.084	0.008
8.	Id..........	2.246	44.9	0.048	0.002	0.088	0.008
9.	Id..........	2.443	48.8	0.049	0.002	0.110	0.007
10.	Id..........	2.640	46.0	0.033	0.002	0.083	0.012

OBSERVATIONS. — Après 1 heure 30 minutes de charge.

Les conséquences de ce tableau sont les suivantes :

1° La résistance à la traction des courroies caoutchouc et toile par millimètre carré de section est au moins égale à celle des courroies cuir, prises dans les mêmes conditions de solidité.

2° Cette résistance est indépendante des dimensions, longueur, largeur et épaisseur ; condition, il est inutile de l'expliquer, qu'on ne saurait réaliser avec les courroies cuir. Il y a donc intérêt à donner la préférence aux courroies caoutchouc et toile, *toutes les fois que les conditions de l'effort à transmettre entraînent l'emploi de courroies d'une grande longueur, d'une grande largeur et d'une forte épaisseur.*

3° Les courroies en cuir étant généralement regardées comme pouvant, dans de bonnes conditions de marche, supporter une charge de 0^k,250 par millimètre carré de section, on peut en toute sécurité appliquer ce chiffre au calcul de la section d'une courroie toile et caoutchouc, quelles que soient ses dimensions.

4° En comparant les expériences faites sur les courroies n° 4 et n° 5 de même largeur, la première avec caoutchouc extérieur, la deuxième avec tissu extérieur et ayant par conséquent une moindre épaisseur (0,028 au lieu de 0,035), on voit, la résistance totale des deux courroies étant la même, que le caoutchouc placé à l'extérieur n'augmente en rien la résistance de la courroie, et que, par suite, il y a toujours avantage à employer les courroies sans caoutchouc à l'extérieur, qui à poids et à prix égaux donnent une résistance supérieure ; d'autant mieux que dans les courroies vulcanisées aux presses, comme elles le sont généralement

aujourd'hui, sous l'influence de la pression et de la chaleur, le tissu extérieur se trouve suffisamment imprégné du caoutchouc venant de l'intérieur pour être inattaquable aux divers agents que peuvent renfermer les milieux où il est appelé à fonctionner.

5° Sous une même charge l'allongement élastique des courroies cuir est double de l'allongement élastique des courroies caoutchouc et toile, et, qui plus est, tandis que pour une charge de $0^k,250$ grammes par millimètre carré de section l'allongement permanent des courroies cuir est à très-peu près égal au cinquième de leur allongement élastique, dans les courroies mixtes et sous cette même charge l'allongement permanent est sensiblement nul.

L'application pratique de ce dernier paragraphe est de toute importance dans l'industrie. L'ouvrier que les chefs d'usines préposent à l'entretien des courroies, étant généralement habitué aux courroies cuir, traite de la même façon les courroies mixtes; de là vient en grande partie l'insuccès de ces dernières: on les raccourcit trop lorsqu'elles glissent, on les casse en les montant, ou on les détruit promptement en les faisant marcher sous une tension trop forte.

L'emploi des courroies caoutchouc et toile, convenablement cousues, amène à l'usage de poulies grossièrement tournées et même brutes de fonte, lorsqu'elles sortent de bons ateliers de fonderie.

Ces poulies, spécialement adaptées aux courroies caoutchouc et toile, doivent présenter une convexité très-faible.

Dans l'état actuel de l'industrie des cuirs et du caoutchouc, on peut dire qu'à effet égal, le prix d'installation d'une courroie caoutchouc et toile est le même que celui d'une courroie cuir.

Restent, comme avantage des courroies caoutchouc et toile, les dépenses d'entretien, qui sont insignifiantes et ne présentent aucun rapport avec les dépenses d'entretien exigées par les courroies cuir de grandes dimensions.

Caoutchouc pour joints, rondelles, tampons de choc, caoutchouc feutré.

Une des premières et des plus importantes applications qui suivirent la découverte du caoutchouc vulcanisé fut son emploi comme joints, pour machines à vapeur, tuyaux de conduite d'eau, de gaz et de vapeur, garnitures de boîtes à étoupe, garnitures de pistons de pompes à eaux, tampons de choc, etc., etc.

L'élasticité du caoutchouc indiquait naturellement cet emploi : placé entre deux surfaces métalliques soumises à des influences de dilatation

et de contraction souvent répétées, il devait les suivre dans leurs mouvements et se comprimer ou revenir à ses dimensions premières à mesure que les deux surfaces tendaient à se rapprocher ou à s'éloigner, et dans tous les cas, sous l'effet d'un faible serrage, rendre leur jonction parfaitement étanche.

Ou les joints étaient à emboîtement, et plus le caoutchouc était pur, nerveux et élastique, meilleurs étaient les résultats obtenus; ou les joints étaient à collet, et par l'addition d'une certaine proportion de substances fibreuses, tout en conservant l'élasticité dans le sens perpendiculaire aux surfaces de joints, on rendait cette élasticité nulle dans le sens parallèle à ces mêmes surfaces : ce qui empêchait le caoutchouc de s'étendre indéfiniment sous la pression des boulons ou autres organes de serrage.

Le grand emploi du caoutchouc pour joints de tuyaux à collets est resté entre les mains de quelques industriels intelligents, qui exécutent à peu près exclusivement toutes les conduites d'eau et de gaz destinées à l'alimentation et à l'éclairage des villes.

Comprenant quel rôle important joue la qualité du caoutchouc dans les divers systèmes de conduites, qui sont en général le fruit de leurs études particulières, ils n'ont pas mis aveuglément la concurrence aux prises pour obtenir à des prix insignifiants les produits qu'exigeait leur industrie : aussi ce genre de fabrication est-il resté dans des conditions relativement bonnes.

Il est regrettable qu'on ne puisse en dire autant de la fabrication des rondelles tampons de choc en caoutchouc qui, placées dans des boîtes spéciales adaptées aux wagons de chemin de fer, travaillent dans des conditions analogues aux conditions des rondelles pour joints de tuyaux à emboîtement. Plus qu'à ces dernières il leur fallait une très-grande élasticité, par suite des causes de déformation violentes et souvent répétées auxquelles elles sont soumises; il fallait, de plus, qu'elles pussent conserver à peu près indéfiniment leur élasticité première. Les rondelles convenablement fabriquées remplissaient ce but : aussi cette application eut-elle en premier lieu un succès énorme, et, il faut bien le dire, parfaitement justifié; mais cette fabrication, une des plus simples que comporte le travail du caoutchouc, ne garda pas longtemps une importance réelle. Les Compagnies de chemin de fer, au lieu d'indiquer dans leurs cahiers des charges les conditions de l'effet mécanique à produire, stipulèrent simplement des conditions de densité; certains fabricants abusèrent de la latitude que leur laissait cette garantie sans autorité réelle, firent des offres en baisse à des prix exagérés, livrèrent des produits dont la qualité était en rapport avec les prix, et il en résulta, pour la plupart des grandes Compagnies, l'abandon d'un auxiliaire précieux, et pour tous les fabricants de caoutchouc, la privation de l'un des plus grands débouchés de leur production.

On comprendra encore plus facilement quels résultats ont pu être atteints, lorsqu'on saura que certaines Compagnies de chemin de fer, qui ont persisté dans l'emploi du caoutchouc, payent 4 francs et même 3f,75 le kilogramme des rondelles tampons de choc, dites pures et nageant sur l'eau, devant d'après le cahier des charges être faites avec des gommes brutes dont le prix d'achat moyen est de 7f,50 le kilogramme.

Aux rondelles tampons de choc qui, achetées dans les conditions actuellement en usage, n'ont conservé que le nom du caoutchouc, on a substitué des ressorts d'acier, qui, d'après les dires de plusieurs ingénieurs des grandes lignes ferrées, n'ont pas donné de résultats satisfaisants : aussi cherche-t-on en ce moment à revenir au caoutchouc, tel qu'il était employé primitivement, en exigeant que les rondelles de choc soient garanties, comme pouvant supporter pendant huit jours, sans déformation appréciable, une pression de 50 kilogrammes par centimètre carré de surface pressée; ce qui, pour une rondelle de dimensions courantes, porte à environ 6 000 kilogrammes la pression à laquelle elle peut être soumise et revenir à ses dimensions premières.

Les joints pour tuyaux à collets ou autres joints dont rien ne limite l'extensibilité, dans le sens parallèle à la surface de jonction, étaient, comme on l'a déjà vu, et devaient forcément être composés de caoutchouc de première qualité, mélangé à une faible quantité de substances fibreuses; mélange qui constituait la préparation de caoutchouc connue sous le nom de *caoutchouc feutré*. Ainsi fabriqués, à une extrême sécurité pendant le travail ils joignaient toutes facilités pour la mise en place ou l'enlèvement. Malheureusement, dans cette application, encore plus, s'il est possible, que dans l'application relative aux rondelles de choc prenant le nom de caoutchouc comme pavillon, on a abusé de la règle qui dit que le pavillon couvre la marchandise! Oubliant le point de départ, oubliant que s'il s'agit simplement de faire un joint sans autres conditions de facilité et de durée, on peut employer des substances d'un bas prix tel, qu'une préparation portant le nom et présentant l'aspect du caoutchouc ne pourra jamais l'atteindre, certains fabricants ont lancé des produits inadmissibles qui ne donnent pas comme emploi de meilleurs résultats que les substances dont je voulais précédemment parler, et qui sont d'autant plus onéreux au consommateur que, tout en lui coûtant toujours dix et vingt fois plus que ces mêmes substances, ils l'exposent à toutes sortes d'ennuis et d'accidents, surtout lorsqu'il s'agit de démontage d'organes délicats de machines à vapeur. Dans cette situation, il y a donc, comme je le disais au début, absolue nécessité, ou de renoncer à l'emploi d'un produit pouvant incontestablement rendre de grands services, ou de revenir au produit primitivement adopté, en imposant aux fabricants des conditions spéciales de résistance à la compression, sous l'action d'une température élevée; condi-

tions qu'il sera toujours facile d'expérimenter à l'aide de simples plaques en tôle et de boulons.

On ne saurait terminer le paragraphe relatif à l'emploi du caoutchouc comme joint, sans parler du rôle qu'il a joué pour les armes de guerre. Tout le monde connaît l'obturateur chassepot, réalisé dans toute sa perfection par MM. Auber et Gérard : c'était un joint dans un fusil; une application moins connue, mais dont l'idée est non moins heureuse, est la cartouche à douille en caoutchouc, exploitée par MM. Rivolier-Bougnard et Blanc, de Saint-Étienne; enfin, sous les auspices bienveillants de la Manufacture nationale d'armes de Saint-Étienne et aidé par les conseils pratiques de M. Voilin, chef des ateliers de précision de cet établissement, à la suite des malheureux événements de la guerre de 1870, j'ai pu arriver à une transformation d'un prix de revient infime, du fusil chassepot, modèle 1866, transformation exclusivement basée sur l'emploi du caoutchouc et que des convenances particulières m'obligent à taire en ce moment, tout en me réservant, s'il y a lieu, d'en faire plus tard l'objet d'une étude particulière.

Caoutchouc durci.

A l'origine de la fabrication du caoutchouc vulcanisé, on ne fabriquait que des objets de dimensions fort restreintes; le mode de vulcanisation exclusivement employé consistait à plonger dans un bain de soufre fondu les objets à vulcaniser, soit nus, soit renfermés dans des moules en fonte.

Par suite de négligence dans la majeure partie des fabriques de caoutchouc, il arriva que plusieurs objets tombèrent au fond des bains, d'où le hasard les fit retirer après un séjour de plusieurs mois; et, à des intervalles très-rapprochés, tous les fabricants de cette époque purent constater simultanément l'existence d'un nouveau dérivé du caoutchouc; les objets caoutchouc qui avaient ainsi séjourné au milieu du soufre porté à une température élevée, tout en conservant une grande flexibilité, étaient devenus d'une dureté au moins égale à celle de la corne : de là à l'idée de mettre dans les préparations du caoutchouc une plus grande quantité de soufre et de vulcaniser plus longuement les objets tirés de ces préparations, il n'y avait qu'un pas; ce pas fut immédiatement franchi, et l'industrie du caoutchouc durci se trouva créée.

Dès sa découverte, le caoutchouc durci, appliqué à la fabrication des divers objets que comportent la buffleterie et la marqueterie, arriva à l'énorme débouché annuel de 5 à 6 millions de francs; un peu plus tard, se substituant avantageusement au buis, il donna les galets étireurs pour filature; puis la bijouterie s'en empara pour le mettre en place du

jais; et dans ces derniers temps, mus par des sentiments dont on ne saurait trop honorer l'humanité, plusieurs ingénieurs, qui dirigent nos grandes manufactures de produits chimiques, ont compris quel parti ils pourraient en tirer, et on ne saurait encore prévoir tous les services qu'il rendra en supprimant des manipulations coûteuses et surtout dangereuses à la santé des ouvriers.

NOTE

SUR LES

APPAREILS DE LEVAGE

A TRACTION DIRECTE

PAR M. J. CHRÉTIEN.

Les grues à vapeur, encore peu connues en France il y a une quinzaine d'années seulement, sont devenues indispensables aujourd'hui, dans les circonstances nombreuses où les besoins du commerce, de l'industrie et du génie civil exigent des manœuvres à la fois plus rapides et moins coûteuses que celles faites à bras d'hommes. Leur emploi s'est beaucoup répandu dans les travaux publics, dans les ports, dans les gares, dans les usines, partout enfin où il y a des travaux ou des manutentions à exécuter.

Mes travaux sur cette question comprenant une série très-complète d'appareils divers, qui ont reçu la sanction de l'expérience et donné des résultats assez remarquables, j'ai pensé qu'il ne serait pas sans intérêt pour la Société de les lui faire connaitre et que cette communication serait favorablement accueillie.

Je vais, sans autre préambule, exposer le principe sur lequel repose le système auquel j'ai donné le nom de traction directe; puis je ferai connaître les principaux types d'appareils que j'ai dû créer pour répondre aux besoins les plus fréquents.

DESCRIPTION DU SYSTÈME.

Dans les élévateurs dits à traction directe, chaque course du piston produit une levée du fardeau. Lorsque cette levée est moindre de 3 à 4 mètres, le fardeau est tiré directement par la tige du piston ou par une chaîne avec laquelle elle est assemblée. Lorsque la levée dépasse cette limite, la course du piston doit être multipliée, et pour cela le moyen employé consiste à former, à l'aide d'une chaîne et d'un nombre suffisant

de poulies, une sorte de palan dont le garant porte la charge à élever, tandis que la puissance motrice est communiquée par le piston à la poulie ou aux poulies mobiles. Dans ce dernier cas, la chaîne peut être mouflée de telle sorte que le palan ainsi formé ait de 2 à 8 et même 10 brins, pour obtenir des levées égales à autant de fois la course du piston. J'ai pu obtenir des levées de 30 mètres, d'un seul coup de piston, avec des vitesses dont les limites sont fixées à l'avance, pour la levée comme pour la descente.

La figure 1 de la planche ci-annexée représente une coupe longitudinale de l'appareil de traction qui est la base du système. Cette coupe permet de bien se rendre compte du mode d'action de la vapeur et du fonctionnement des divers organes. La tige du piston porte à son extrémité supérieure une chape qui reçoit l'axe des poulies mobiles D, là où les poulies F sont montées sur un axe fixe, et la chaîne, dont l'une des extrémités est attachée en G, s'enroule sur ces diverses poulies de manière à former un palan dont le garant est le brin E, qui porte le fardeau.

On voit qu'en agissant au-dessus du piston, la vapeur le fait descendre, en éloignant de plus en plus les poulies mobiles des poulies fixes; par suite, chaque brin de la chaîne s'allonge, tandis que le garant qui fournit à ces allongements se raccourcit d'une quantité égale à la somme des allongements des autres brins. C'est ainsi que la levée a lieu et que le chemin parcouru par le fardeau se trouve être égal à la course du piston multipliée par le nombre des brins du palan.

A la descente du fardeau, l'effet inverse se produit : le piston remonte, les poulies se rapprochent, et les brins du palan se raccourcissent, au profit du garant, qui s'allonge d'autant.

Un mouvement d'arrêt automoteur, à la levée comme à la descente, était indispensable pour empêcher que le piston vînt buter contre les fonds du cylindre, en cas d'inattention ou d'inexpérience du conducteur. Ce mouvement, d'une extrême simplicité, se compose d'un levier JH, articulé à l'une de ses extrémités avec la tige qui conduit le tiroir, et à l'autre avec une tringle JK, guidée par le support L et portant vers le haut deux taquets qui en limitent la course. La tige du piston porte un buttoir M, terminé par une fourchette qui embrasse la tringle, de sorte que, quand le piston arrive au bas de sa course, la fourchette bute contre le taquet N et fait mouvoir le levier JH, qui ferme les orifices de distribution : alors le mouvement s'arrête. Lorsqu'au contraire le piston arrive vers le haut de sa course, la fourchette bute contre l'un des taquets du haut, et agit de même sur le levier, qui ferme encore les orifices.

Un levier de manœuvre unique, calé sur l'axe O, ou placé tout autrement pour pouvoir agir sur la tige du tiroir, sert à produire tous les mouvements, sans aucune fatigue pour l'ouvrier. On obtient ainsi avec

une grande précision toutes les vitesses voulues, sans chocs ni brusquerie. Il suffit d'élever le levier pour faire monter le fardeau, de l'abaisser pour qu'il descende et de le placer à mi-course pour que l'arrêt ait lieu. Cette manœuvre est d'une simplicité telle, que les appareils peuvent être confiés aux mains les plus inexpérimentées.

Comme exemple de la précision et de la douceur de fonctionnement que l'on peut obtenir, il convient de citer le monte-plats installé au Cercle international de l'Exposition de 1867, et pour lequel le jury a décerné une médaille. Cet élévateur, affecté au service du restaurant, élevait les plats, la vaisselle, la verrerie, etc., du sous-sol au premier et au deuxième étage, et devait, pour suffire aux exigences du service à certains moments, monter et descendre le plateau, vide ou chargé, jusqu'à cinq et six fois par minute, à 12 mètres de hauteur. Or, bien que la vitesse de marche fût grande et les charges essentiellement fragiles, il n'y eut aucune avarie pendant toute la durée de l'Exposition.

La vapeur agit généralement sans détente dans ces appareils[1]; néanmoins la consommation en est relativement faible, par suite du mode de distribution, que j'ai combiné en vue de la restreindre autant que possible. La dépense de vapeur est sensiblement proportionnelle au travail utile produit: condition d'autant plus importante que, dans ces sortes d'engins, les deux éléments constitutifs du travail mécanique, charge enlevée et hauteur d'élévation, varient constamment.

En réduisant la consommation de vapeur, on économise le combustible, et, ce qui est un avantage encore plus grand, on diminue le travail du chauffeur pour l'alimentation de la chaudière en eau et en charbon; de plus, la chaudière elle-même peut être d'autant plus petite qu'elle a moins de vapeur à fournir. Je considère donc comme l'un des principaux avantages de mes appareils et l'une des causes de leur succès le peu de vapeur qu'ils consomment pour un travail déterminé. Aussi ai-je cru nécessaire de décrire très-explicitement le mode de distribution de la vapeur qui permet d'atteindre ce résultat.

Les figures 2, 3 et 4 représentent, à une plus grande échelle, les diverses positions qu'occupe le tiroir pendant la descente, l'arrêt et la levée du fardeau.

Descente. — Dans la position indiquée par la figure 2, le tiroir met en communication le haut et le bas du cylindre par les deux orifices A et B. Le piston, se trouvant ainsi placé dans un milieu à pression uniforme, tend à remonter, parce qu'il est sollicité, d'une part, par la pression de la vapeur agissant sur une surface plus grande en dessous du piston

1. On trouvera plus loin la description d'appareils dans lesquels la détente de la vapeur est utilisée.

qu'au dessus, d'une quantité égale à la section de la tige du piston; d'autre part, par la tension de la chaîne, due au contre-poids ordinairement placé à son extrémité libre. Donc le piston remonte et le crochet de la chaîne descend, sans qu'il y ait aucune dépense de vapeur pendant cette période de la marche, l'admission et l'échappement de la vapeur étant fermés l'un et l'autre par le tiroir. Comme on le voit, la vapeur, en passant du dessus du cylindre au dessous, remplit le rôle de frein, et la vitesse est réglée par l'ouverture plus ou moins grande laissée pour le passage de la vapeur.

Arrêt. — Dans la position indiquée par la figure 3, les bandes du tiroir couvrent à la fois les orifices A et C servant à l'introduction et à l'échappement de la vapeur. Dans cet état, tout mouvement du piston est impossible, et l'arrêt a lieu, qu'il y ait ou non une charge suspendue au crochet. La vapeur étant emprisonnée dans les deux compartiments du cylindre formés par le piston, il s'établit dans chacun d'eux, par le seul fait de la charge plus ou moins grande qui tend la chaîne, des pressions qui équilibrent exactement cette charge. Il faudrait, pour que le plus petit mouvement pût se produire, que les pressions, après s'être exactement équilibrées au moment de l'arrêt, éprouvassent une variation; ce qui est impossible, à cause de la position du tiroir.

On a quelquefois fait cette objection, que la condensation de la vapeur dans un long cylindre devait produire une dépression ayant pour conséquence la descente graduelle du fardeau pendant des arrêts prolongés. Bien que cette condensation soit extrêmement faible, et ses effets insignifiants dans la pratique, il est très-facile d'obvier aux inconvénients qui pourraient à la rigueur en résulter, dans des circonstances exceptionnelles. Il suffit pour cela de donner au tiroir une position telle, que la vapeur puisse s'introduire dans le cylindre en quantité égale à celle qui se condense. Or les orifices de distribution sont faits de telle sorte que cela peut s'obtenir exactement et sans hésitation, ainsi que le prouve une pratique journalière déjà longue.

On peut donc, avec la plus grande facilité, maintenir la charge suspendue absolument immobile pendant tout le temps nécessaire, et même abandonner entièrement le levier ou s'éloigner de l'appareil pendant ce temps, quel qu'il soit. Avant d'avoir pu obtenir cette fixité absolue du fardeau par la distribution de vapeur elle-même, j'ai, dans plusieurs circonstances, employé des organes spéciaux pour atteindre ce but, et notamment le frein hydraulique, avec cylindre, piston et autres accessoires; l'encliquetage à rochet, le frein ordinaire et quelques autres dispositions mécaniques. J'ai depuis complétement abandonné toutes ces dispositions, que remplace avantageusement la nouvelle distribution de vapeur, réalisant ainsi un perfectionnement qui rend les appareils plus simples et donne un rendement plus élevé du travail moteur.

Levée.— Dans la position indiquée par la figure 4, le tiroir ouvre à l'introduction l'orifice supérieur A et à l'échappement l'orifice inférieur C, par lequel la vapeur contenue dans la partie inférieure du cylindre sort, après avoir passé par l'orifice intermédiaire B. Alors la pression augmente au dessus du piston, tandis qu'elle diminue au dessous : conséquemment le piston descend, entraînant avec lui les poulies mobiles, et la levée a lieu. Ce n'est donc que pendant la levée qu'il y a introduction et échappement de vapeur.

On voit que l'air extérieur n'entre jamais dans le cylindre; ce qui serait une cause sérieuse de refroidissements. On voit aussi que, par suite du passage de la vapeur du haut du cylindre dans le bas, pendant la période de descente et de l'échappement en dessous du piston, la vapeur renfermée dans le haut est toujours utilisée. On ne dépense ainsi que la quantité de vapeur exactement proportionnelle au travail utile produit. Il n'en serait pas ainsi sans cette disposition : car dans le cas, par exemple, où la levée se trouverait réduite au dixième de la course totale, si ce dixième correspondait précisément à la fin de course, on dépenserait une cylindrée entière de vapeur, et le travail utile obtenu exigerait une dépense de vapeur dix fois plus grande.

Il convient de faire remarquer ici que les appareils à traction directe ne peuvent jamais soulever de charges supérieures à celles pour lesquelles ils ont été établis, et qui correspondent au maximum de pression de la vapeur employée. Il résulte de là qu'aucune des pièces dont ils se composent ne peut être soumise à des efforts pour lesquels elle n'est pas faite, et que, dans des appareils bien construits, il n'y a pas de ruptures possibles.

De tous les engins du levage, ce sont les seuls qui jouissent de ce précieux avantage. Cela, joint aux dispositions adoptées pour limiter automatiquement la levée et la descente, donne la plus complète sécurité contre toutes espèces d'accidents inhérents au système. Il ne s'en est pas encore produit un seul, quel qu'il soit, bien qu'il y ait déjà plusieurs centaines de ces appareils en usage depuis un certain temps.

Les appareils élévatoires dont il s'agit ont donc sur ceux de tous les autres systèmes les avantages suivants :

1° Simplicité de construction;

2° Facilité de manœuvre;

3° Absence complète de toute cause d'accidents;

4° Rendement élevé en travail utile;

5° Entretien facile et peu coûteux, peu de frottements, peu d'usure, longue durée.

Il existe des appareils qui, ayant déjà fonctionné pendant huit ans,

n'ont jamais nécessité d'autres réparations que le
chaînes usées.

La traction directe a encore cet avantage, qu'elle se p..
à toutes sortes d'installations. Les appareils peuvent être p..
distances considérables des générateurs, comme on en verra plu..
des exemples. Les applications actuellement existantes sont très-nombreuses et très-variées : elles s'élèvent à plus de 300, comprenant 30 à 40 types bien distincts, dont je me bornerai à faire connaître les principaux.

GRUES ROULANTES. (Figure 5.)

Les grues mobiles sur rails ou sur le sol, par cela même qu'elles sont d'un déplacement facile, conviennent parfaitement dans une foule de cas. Elles ont été appliquées principalement sur les quais, pour le déchargement et le chargement des bateaux et navires; dans les gares, pour la manutention des marchandises; dans les travaux publics, pour les terrassements, la construction des ponts jetés, etc. Le plus souvent les forces varient de 1,500 à 3,000 kilog., et les portées de 5 à 7 mètres; cependant j'en ai construit un certain nombre dont les forces étaient de 6,000 et de 10,000 kilog., ainsi que d'autres dont les portées atteignaient jusqu'à 10 et 12 mètres. Dans ces derniers cas, la stabilité s'obtient, soit en donnant aux roues un écartement plus grand que l'écartement ordinaire, qui correspond à la voie des chemins de fer, soit en disposant le châssis du chariot pour qu'il se prête à un calage facile.

Il est inutile de faire la description détaillée des grues dont il s'agit, généralement connues du reste, et assez explicitement indiquées par la figure pour que l'on puisse aisément s'en rendre compte. Un seul homme suffit pour la manœuvre : d'une main, il agit sur le levier qui fait monter ou descendre la charge; de l'autre, il agit sur un volant à main pour produire l'orientation. Ces deux mouvements peuvent être simultanés et exécutés sans grand effort.

L'orientation est celui des deux mouvements qui fatigue le plus les organes de la grue; c'est en même temps celui qui exige le moins de force motrice. Dans plusieurs cas, j'ai appliqué l'orientation à vapeur, en employant, soit un cylindre annulaire concentrique avec le pivot, soit un cylindre droit avec piston agissant sur une crémaillère ou sur une chaîne enroulée autour du pivot, soit enfin une machine rotative Behrens. Mais, quoique donnant ordinairement d'assez bons résultats, l'orientation à vapeur a le grave inconvénient de laisser aux conducteurs des grues une trop grande facilité de les surmener par des évolutions brusques et plus rapides que ne l'exige un bon travail, ce dont ils abusent fréquemment. Il en résulte quelquefois des ruptures, dont les

conséquences sont plus ou moins graves, et toujours une dislocation assez rapide de la structure générale.

Il est de beaucoup préférable de chercher les conditions d'une orientation facile dans une construction soignée et rationnelle, afin de pouvoir l'obtenir à bras, sans trop de fatigue pour le conducteur. On peut, du reste, y réussir complétement et éviter ainsi une complication inutile en même temps que des chances d'accidents toujours très-graves.

Dans quelques grues devant satisfaire à des exigences spéciales, j'ai appliqué des dispositions particulières : les unes, afin de rendre la flèche facilement abaissable et relevable, même pendant le travail ; les autres, pour augmenter la levée normale ou régler à une hauteur variable le point de départ de la course du fardeau ; d'autres enfin pour obtenir le mouvement de déplacement de la grue en utilisant le mouvement de levage, ce que l'on obtient en passant la chaîne sous une poulie de renvoi fixée au chariot et en tirant sur une amarre fixe, ainsi que je l'ai fait, en 1868, à Passy. Ce sont là autant de détails particuliers qu'il me suffit d'indiquer.

Le système de chaudière qu'il convient d'employer n'est pas indifférent. Un bon générateur doit être, surtout ici, d'une conduite facile, consommer peu de charbon et produire de la vapeur parfaitement désaturée et même légèrement surchauffée. En raison même de la très-grande irrégularité du travail, la production de la vapeur doit être rapide à certains moments, tandis qu'au contraire elle doit être à peu près nulle pendant les temps d'arrêts prolongés. C'est en donnant à la chaudière une puissance sept à huit fois plus grande que ne l'exigerait strictement le travail à produire, et en combinant des moyens pour régler convenablement le tirage de la cheminée, que j'ai pu satisfaire à ces diverses conditions.

Voici, comme renseignements utiles, les résultats obtenus dans quelques services réguliers, où des observations précises ont été possibles :

Débarquements de charbons. — Pendant la deuxième quinzaine de mars 1870, j'eus à surveiller le travail de débarquement des charbons de la Compagnie parisienne du gaz, à Passy. Le travail se faisait au moyen d'une grue de 2,000 kilog., que j'avais installée deux ans auparavant pour une entreprise particulière. Les bennes contenaient environ 1,200 à 1,300 kilog. de charbon. Il y avait huit hommes travaillant à la tâche, dans le bateau, pour l'emplissage des bennes, et deux hommes à la grue, dont l'un pour la conduire, et l'autre spécialement occupé à l'approvisionnement d'eau et de combustible. La durée du travail effectif était de neuf heures par jour, et la quantité de combustible brûlé était de 4 à 5 hectolitres de coke par jour. Enfin, des arrêts d'une durée plus ou moins longue étaient parfois nécessités par des manœuvres accessoires, comme

le changement des bateaux et le déplacement de la grue, ou par le camionnage, qui était à peine suffisant à certains moments.

Dans ces conditions, les quantités de charbon pris en bateau et chargé en tombereaux ont été :

Le 15	mars, de	. . . .	268,410 kil.
16	—	. . . .	275,560
17	—	. . . .	305,660
18	—	. . . .	278,900
19	—	. . . .	259,480
20	—	Dimanche.	»
21	—	. . . .	298,670
22	—	. . . .	280,740
23	—	. . . .	296,140
24	—	Mi-carême, demi-journée. . . .	149,160
25	—	. . . .	231,160
26	—	. . . .	291,610
27	—	Dimanche.	»
28	—	. . . .	290,950
29	—	. . . .	335,580
30	—	. . . .	273,100
31	—	. . . .	307,630

Ces chiffres, relevés sur les registres mêmes de la Compagnie parisienne du gaz, permettent de compter sur une moyenne d'environ 300 tonnes par jour, dans toute entreprise analogue bien organisée. Il sera facile d'établir le prix de revient de la tonne débarquée, en se basant sur les indications qui précèdent.

Terrassements. — Dans les travaux de l'avant-port du Havre actuellement en cours d'exécution, l'entreprise Jeanne-Deslandes emploie des grues à vapeur pour extraire les déblais des fouilles et les charger dans des wagons conduits à la décharge par des locomotives. Le service du matériel, organisé d'une façon remarquable par l'habile directeur de l'entreprise, M. Chéron, est fait de telle façon qu'il n'y a presque pas de temps perdu dans le travail. La nature du sol, la profondeur des tranchées et surtout les nombreux étais qui soutiennent les fouilles, s'opposent à ce que l'on puisse mettre à chaque grue un nombre de terrassiers suffisant pour fournir tout le travail qu'elle pourrait produire. On a donc réduit la contenance des bennes pour cette raison, en même temps que pour les rendre plus maniables au fond des tranchées et pour qu'elles puissent sortir plus facilement sans accrocher les étais.

D'après la note qui m'a été envoyée par l'entreprise, chaque grue, travaillant dans une fouille étayée de deux mètres en deux mètres, prend les déblais à 7 mètres de profondeur et charge dans des wagons à 2 mètres au-dessus du sol. La charge enlevée chaque fois n'est que de

620 décimètres cubes. Le résultat par journée, bonne moyenne, est de 36 bennes à l'heure : soit 268 mètres cubes par journée de 12 heures. La consommation de charbon est en moyenne de 220 à 230 kilog.

D'après cette note, il ressort clairement que, si les fouilles permettaient d'employer un plus grand nombre de terrassiers à desservir chaque grue, on pourrait se servir de bennes contenant un mètre cube, au lieu de celles employées, qui n'en contiennent pas deux tiers. On pourrait alors obtenir, comme travail de la grue, à raison de 36 charges à l'heure, un total de 432 mètres cubes par journée de 12 heures.

Ici encore le prix de revient par mètre cube est facile à établir, en considérant qu'un seul ouvrier peut suffire à la manœuvre de la grue en même temps qu'au déchargement des bennes, ainsi qu'on va le voir plus loin. Il va sans dire que dans les cas où la grue produit un travail rapide et continu, il y a tout avantage à adjoindre un aide au conducteur, pour veiller au feu et à l'eau de la chaudière et pour remplacer celui-ci quand cela est nécessaire.

La note dont il vient d'être parlé mentionne aussi le travail d'une grue semblable affectée au déchargement des moellons et pierres à chaux arrivant par mer dans des chalands qui en contiennent 60 mètres cubes. Un chaland est déchargé en trois heures, et la quantité de charbon brûlé est de 60 kilog., allumage compris.

Tonneaux, sacs, etc... — Je mentionnerai enfin, pour clore la série des informations précises que j'ai pu recueillir sur le travail des grues roulantes affectées à un travail courant, les résultats suivants :

De toutes les marchandises, les fûts, tonneaux ou barriques sont celles dont la manutention est la plus expéditive. Les barriques peuvent être plus ou moins grosses et plus ou moins lourdes, selon qu'elles contiennent du vin, de l'alcool, de l'huile ou d'autres matières, comme le sucre, le minium, la céruse, etc... Selon la marchandise, on élève chaque fois une, deux ou trois barriques, et, comme l'accrochage et le décrochage peuvent se faire rapidement, on fait sans difficulté 50 à 60 manœuvres à l'heure.

Pour les sacs de grains et farines, on réussit à organiser des services de débarquement rapides : pour cela, on emploie, soit des élingues qui embrassent généralement 5 sacs, soit des plateaux à bascule sur lesquels on en place à peu près le même nombre. On peut très-bien décharger ainsi 200 sacs à l'heure.

BENNES.

Comme accessoires des grues employées pour le déchargement des charbons, minerais, déblais, sables, etc., les bennes ont une certaine influence sur la quantité de travail produit, et par suite sur le prix de

revient. Il en existe d'une foule de systèmes différents : les unes pivotent sur des tourillons et se versent à la volée; les autres s'ouvrent par le fond, formé de deux volets à lourds contre-poids ; d'autres se séparent en deux parties du haut en bas; d'autres, en forme de pelles, laissent glisser, en s'inclinant, la matière qu'elles contiennent. Rien n'est plus varié que les systèmes, les formes et les dimensions qui ont été essayés.

Dans tous les cas, les bennes doivent être facilement maniables, et par conséquent aussi légères que possible; elles doivent être solides, contenir le plus grand volume possible dans la moindre enveloppe, et ne pas présenter d'angles saillants qui puissent les faire accrocher pendant le levage. La forme cylindrique est, pratiquement, celle qui remplit le mieux ces diverses conditions : aussi doit-elle être préférée à toutes les autres.

Tout récemment, j'ai fait breveter une nouvelle benne que je crois préférable à toutes celles employées jusqu'ici, à ma connaissance du moins. Elle est représentée suspendue à la grue dans la figure 5. Non-seulement elle satisfait bien aux conditions qui viennent d'être énoncées ; mais encore elle offre cet avantage considérable de pouvoir être vidée par le conducteur même de la grue, sans peine, sans perte de temps et sans dérangement. Cette benne s'ouvre par le fond, laisse couler son contenu sans brusquerie, et ne produit pas par conséquent sur le pivot de la grue la secousse qu'occasionnent les bennes à déversement instantané. Employée pour les charbons, elle a l'avantage de ne faire que le moins possible de menus.

GRUES A PIERRES. (Figure 6.)

La grue à pierres, représentée par la figure 6, est installée au bassin de la Villette, à Paris, depuis 1870. Par ses proportions, sa construction entièrement métallique et sa marche irréprochable, elle constitue un engin extrêmement remarquable. C'est, si je puis le dire sans fausse modestie d'auteur, la plus belle grue qui existe, à ma connaissance du moins.

Elle lève 15,000 kilog.; sa longueur est de 28 mètres et son poids total de 62,000 kilog. Les trois mouvements de levage, d'amenée de la charge et de déplacement de la grue sur ses rails, sont à vapeur. Ils peuvent fonctionner ensemble ou séparément. Un seul ouvrier placé dans la guérite suffit pour la conduire. La vitesse de levée peut atteindre 0^{m},30 par seconde; celle d'amenée, 0^{m},80, et celle de déplacement, 0^{m},50. Dans les jours de plus grand travail, la consommation de charbon n'a été que de 250 à 300 kilog.

GRUES A BIGUE. (Figure 7.)

Les grues à bigue conviennent particulièrement pour le déchargement des navires de charbons, minerais, sables et autres matières d'une manutention analogue. Le premier appareil de ce genre a été installé sur le quai de MM. Bourdon et Cie, à Dunkerque, pour le service des charbons de la Compagnie parisienne du gaz. Il est monté sur roues, et les wagons de chargement peuvent circuler entre les pieds droits de la charpente. Les organes principaux sont : la chaudière, l'appareil de levage A et la bigue mobile B. La bigue est équilibrée en arrière par un contre-poids, et elle a en avant une poulie qui a pour but de porter la chaîne à l'aplomb de l'écoutille, ainsi qu'une griffe en forme de C, dans laquelle le boulet D de la chaîne peut se loger.

Le fonctionnement est des plus simples : au début, la benne étant au fond de l'écoutille accrochée à la chaîne, le mécanicien lève le levier de manœuvre E, et le mouvement de levage a lieu ; la benne monte verti-

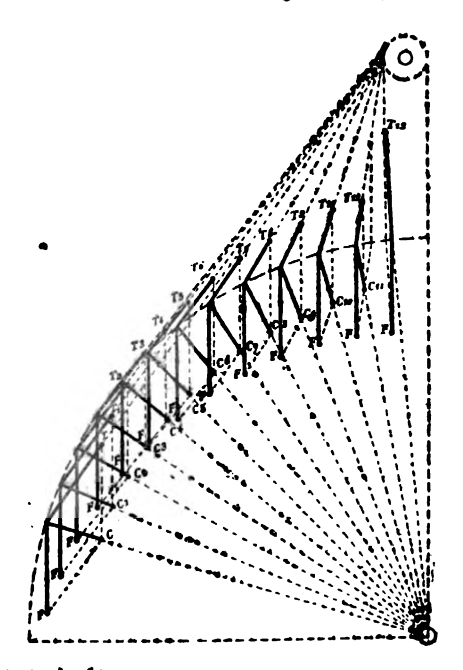


Fig. 1. Charge soulevée.
T T_1 T_2, etc., efforts de traction de la chaîne pour enlever la charge F.
C Efforts de compression sur la bigue.

calement. Dès qu'elle sort de l'écoutille, le boulet D s'engage dans la griffe C de la bigue et la soulève en continuant de monter. Dans son

mouvement de relèvement, la bigue fait décrire un arc de cercle à la benne, qui vient prendre sa position d'arrivée au-dessus d'un tablier incliné ; aussitôt arrivée à ce point, un ouvrier chargé de ce travail la saisit à la volée et la fait basculer en en versant le contenu, qui tombe sur le tablier et de là dans le wagon. La descente se fait aussitôt, et l'inverse de ce qui s'est produit à la levée se reproduit à la descente.

Il n'y a donc dans cet appareil qu'un mouvement unique, celui de traction sur la chaîne, et le mécanicien n'a à se préoccuper que de déterminer, à l'aide du levier, la levée ou la descente de la benne; tout le reste se fait automatiquement.

Mais ce qui rend cet appareil surtout remarquable et qu'il importe de signaler, c'est que la vapeur agit avec détente, l'introduction de la vapeur n'ayant lieu que pendant les deux cinquièmes de la course du piston.

Au moyen d'une série d'épures, je suis parvenu à déterminer la relation qui doit exister entre la longueur de la bigue et la course du piston, ainsi que la position respective des diverses parties de l'appareil.

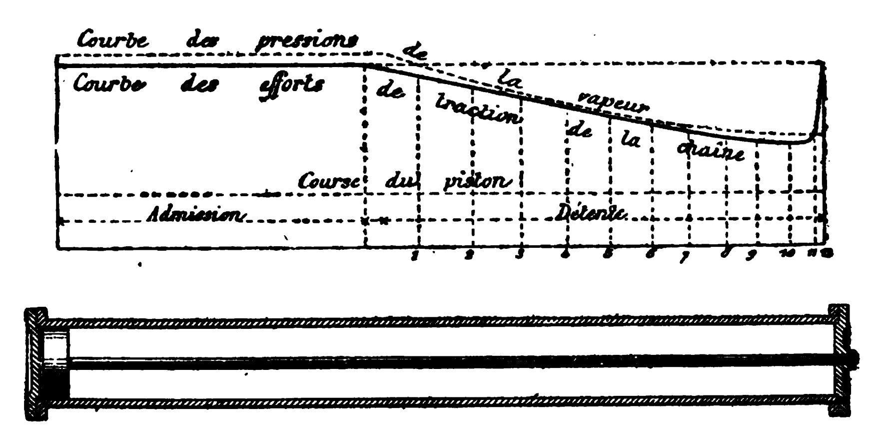
L'épure qui précède m'a conduit à l'emploi de la détente; en voici le tracé :

Étant données la longueur de la bigue et la position de son axe ainsi que celle de la poulie de tête, on trace un arc de cercle ayant pour rayon la longueur de la bigue; puis on divise en un certain nombre de parties égales la portion de cet arc de cercle que décrit l'extrémité de la bigue dans son mouvement. Par chacun des points de division on trace trois lignes : l'une dans le sens du rayon, qui représente la direction de la bigue; une autre verticalement, qui représente la direction de la partie de chaîne qui porte la charge, et une dernière, tangente à la poulie supérieure, qui représente la direction de la partie de chaîne tirant sur la tête de la bigue pour la relever. Ensuite, pour chacun de ces mêmes points, on porte sur la ligne verticale une longueur constante, qui représente, à une échelle quelconque, la charge suspendue ; puis on décompose l'effort ainsi représenté suivant les deux directions qui le détruisent, c'est-à-dire suivant la direction de la chaîne qui tire et celle de la bigue qui résiste.

On a donc ainsi les grandeurs F, qui représentent la charge constante soulevée; T, T_1, T_2, etc..., qui représentent les efforts de traction de la chaîne; et C, C_1, C_2, etc..., qui représentent les efforts de compression agissant sur la bigue dans ses diverses positions. Il résulte de l'examen de cette épure que les efforts de compression sont à peu près constants sur la bigue, et que les efforts de traction vont en diminuant suivant une certaine courbe, à mesure que la bigue se relève. Conséquemment, on peut conclure que, pour conserver un mouvement uniforme, il faut modérer la puissance motrice (c'est-à-dire la pression de la vapeur dans le cylindre) de la même manière que les efforts de traction se réduisent

d'eux-mêmes, par suite de l'action de la bigue, pour rester soit en équilibre, soit dans une relation constante avec la résistance à vaincre.

Si donc on trace une courbe qui représente la loi de décroissance des efforts de traction nécessités pour que le mouvement reste uniforme, il faudra que cette courbe coïncide avec celle qui représente les efforts moteurs ou la pression de la vapeur dans le cylindre, pour que l'équilibre ait lieu dans toutes les positions. De même, pour qu'au lieu d'équilibre il y ait mouvement uniforme, il faut que la courbe des pressions l'emporte sur celle des résistances, tout en restant constamment parallèle.



Dans l'épure ci-dessus, la ligne pleine représente les efforts de traction supportés par la chaîne pendant toute la course du piston; la ligne ponctuée représente les pressions dans le cylindre pendant cette même course. On voit que, pendant la première période de la levée, celle pendant laquelle la benne monte verticalement, jusqu'au moment où elle va sortir de l'écoutille et où le boulet rencontrera la bigue; on voit, dis-je, que les efforts de traction sont constants, de même que la pression de la vapeur, qui est admise pendant cette période. Pendant la deuxième période, celle qui correspond au relèvement de la bigue, si l'on ferme complétement l'arrivée de vapeur, il y a détente de la quantité précédemment introduite, et cette détente donne précisément la courbe des pressions qu'il importait d'obtenir.

Une particularité précieuse pour un bon fonctionnement est révélée par ces courbes. On voit, en effet, que la courbe des tractions se relève brusquement à la fin de la course et l'emporte grandement sur celle des pressions. Ceci indique que vers la fin de la course le mouvement s'arrêtera de lui-même, et que l'arrêt de la benne se fera toujours au même point, comme si elle venait s'amortir contre un ressort. Donc, quoi que puisse faire ou ne pas faire le conducteur de la grue, la benne montera

d'un mouvement régulier et viendra s'arrêter au point voulu, si un moyen mécanique vient fermer en temps utile l'introduction de la vapeur dans le cylindre.

Le problème ainsi posé, la solution devenait facile. J'ai placé sur l'appareil de traction, vers les deux cinquièmes de la course du piston, une camme qui ferme l'arrivée de vapeur au passage du piston quand il monte et qui l'ouvre quand il descend. Tout se passe ainsi en dehors du contrôle du mécanicien, dont le rôle se borne à mouvoir le levier pour déterminer en temps utile la levée ou la descente.

Les résultats pratiques ont été de tous points conformes aux indications de la théorie; les mouvements ont une précision et une douceur remarquables. Voici du reste les résultats qui ont été relatés dans le procès-verbal dressé, pour la réception de cette grue, par MM. Plocq, ingénieur en chef des ponts et chaussées, à Dunkerque ; Quillacq, constructeur à Anzin, et Hippolyte Fontaine, notre collègue.

Au début, une première série d'expériences a été faite pour apprécier la suffisance de la chaudière, dont la force nominale était de 6 chevaux, et pour constater les manœuvres, dans l'hypothèse d'un service accéléré ne laissant aucunement chômer l'appareil. La hauteur de levée verticale était de 10 mètres, et la charge enlevée de 750 kilog., y compris le poids de la benne : ce qui donnait un travail utile de 7,500 kilogrammètres par manœuvre. Dans ces conditions, la grue a fonctionné, pendant un temps reconnu suffisant, à raison de 3 opérations par minute, chaque opération se composant de la levée, d'un temps d'arrêt de quelques secondes à l'arrivée pour simuler le versement de la benne, de la descente et d'un autre temps d'arrêt égal au premier pour simuler l'accrochage de la benne dans la cale.

Après cette première série d'expériences, qui donnait la mesure du travail qu'aurait pu faire la grue, si elle eût pu être assez habilement desservie, on a procédé à une autre série ayant pour objet de constater la quantité de charbon qui pouvait être débarquée. Bien que, dans un premier essai pratique, l'organisation du travail laissât nécessairement à désirer, les résultats suivants ont été obtenus pour le chargement de 5 wagons :

POIDS des WAGONS CHARGÉS.	DURÉE du CHARGEMENT.	OBSERVATIONS.
kil.	minutes.	
9,780	22	12 chargeurs dans le navire.
10,300	25	» »
10,140	18	Service des bennes très-régulier.
10,220	23	La grue attend un peu les bennes.
10,320	30	La grue attend chaque fois.

On a donc déchargé, dans ce premier essai, 50,760 kilog. de charbon en 118 minutes. Pendant le temps où le service des bennes était régulier, on a pu faire 10 tonnes en 18 minutes : ce qui ferait, à cette allure, 3,333 kilog. à l'heure. Or la charge de charbon enlevée chaque fois n'était que de 500 kilog., tandis qu'il y aurait eu un avantage assez sensible à enlever 750 ou 800 kilog.

Depuis cette époque, le service s'est amélioré ; aujourd'hui, les plus grands navires de charbon qui entrent dans le port de Dunkerque, jaugeant environ 900 tonneaux, sont déchargés dans l'intervalle de deux marées consécutives : soit environ 12 heures par deux grues qui fonctionnent simultanément. La marche des appareils est assez sûre pour que l'on puisse travailler la nuit. Je terminerai en disant qu'après une expérience de plusieurs années, MM. Bourdon et Cie m'ont fait transformer en grues à bigue les grues à vapeur tournantes qu'ils avaient précédemment achetées en Angleterre.

MONTE-CHARGES. (Figures 8 et 9.)

Les monte-charges peuvent être disposés d'un grand nombre de façons différentes, selon le travail à faire et les exigences du local où ils doivent être installés. Le plus souvent, ils ne se composent que de l'appareil de traction élémentaire qui a été décrit (figure 1) au commencement de cette note, lequel appareil peut être placé verticalement, soit le long d'une colonne ou d'un poteau, soit contre un mur ou charpente spéciale ; ou, plus simplement encore, debout au milieu d'un étage. Dans d'autres cas, ils ont eux-mêmes la poulie de renvoi qui porte la chaîne là où elle doit tomber ; ou bien ils sont munis d'une potence tournante ; ou bien encore ils sont appliqués contre un mur à travers lequel la chaîne passe pour gagner la poulie d'une potence détachée. De toutes ces dispositions, comme de beaucoup d'autres que je passe sous silence, des applications plus ou moins nombreuses ont été faites : les figures 8 et 9 en indiquent quelques-unes, dont il serait superflu de donner la description. Je dirai seulement quelques mots des principales installations existantes.

Monte-charges de fours à chaux. — La figure 8 représente un monte-charges appliqué pour la première fois à un four à chaux, dans la sucrerie de Mitry. Ce moyen d'élévation rapide, à une hauteur d'environ 14 mètres, ne fut pas sans inspirer des craintes sérieuses aux ouvriers qui devaient s'en servir. Au début, on fut obligé, pour vaincre leur résistance, d'établir une échelle dont ils se servaient pour monter, le plateau de l'ascenseur n'étant employé que pour élever le coke et la pierre à chaux. Mais deux jours ne s'étaient pas écoulés que déjà ils avaient délaissé l'échelle, qui n'existe plus aujourd'hui. Depuis, les ouvriers montent sans aucune hé-

sitation sur le plateau, souvent même par amusement, et arrivent ainsi à destination sur la plate-forme en moins d'une demi-minute.

Monte-sacs. — Il existe aux magasins généraux de Saint-Denis une installation assez importante, qui comprend 18 monte-sacs desservant les trois principaux magasins. Ces appareils, dont le nombre définitif doit être porté à 36, après l'achèvement des constructions, sont alimentés par un générateur unique, placé dans un hangar séparé des magasins. La vapeur arrive aux monte-sacs par des tuyaux en fer creux, soigneusement enveloppés, placés en partie dans des caniveaux, sous les chaussées, et en partie dans les sous-sols des magasins. Le développement total de la tuyauterie a près d'un kilomètre de longueur; malgré cela, l'entretien serait à peu près nul, si l'on voulait ne pas considérer comme tel le graissage et le nettoyage des engins qui fonctionnent. Cette installation, la première que j'aie faite de ce genre, date de 1866; aucune réparation n'a encore été nécessaire.

Dans le projet primitif, on avait prévu des appareils hydrauliques, dont la première série exigeait, comme dépense de premier établissement, la somme de 175,000 francs. Mon devis, sur l'avis de M. Fourneyron, notre regretté collègue, ne s'est élevé qu'à 50,000 francs pour l'installation complète de la même série d'appareils.

Les monte-sacs sont manœuvrés par les divers garçons de magasin indifféremment; le chauffeur, chargé du service des chaudières et des autres machines de l'établissement, s'occupe du graissage et du nettoyage. Ces appareils ont à élever, soit au premier, soit au deuxième étage, des sacs de blé ou de farine dont les poids sont ordinairement de 100 et 159 kilog. La moyenne du travail produit par chaque appareil est de 120 à 150 sacs à l'heure, y compris les pertes de temps occasionnées par le déplacement des wagons ou des voitures. On peut néanmoins élever trois sacs par minute. Les essais de réception ont été faits en faisant marcher 12 appareils à la fois, à raison de 5 à 6 manœuvres chacun par minute, la charge restant constamment attachée.

La consommation de vapeur n'a pu être observée par chaque appareil; la seule indication précise que j'aie sur ce point, c'est que, lors du ravitaillement de Paris, qui fit naître dans les entrepôts un mouvement sans exemple, le maximum de charbon consommé pour tout le service de l'établissement ne s'est élevé qu'à vingt tonnes dans un mois.

D'autres monte-sacs, installés au grenier d'abondance, aujourd'hui détruit, prenaient les sacs dans le sous-sol pour les élever au quatrième étage, à 19 mètres de hauteur. On a élevé jusqu'à 120 et 130 sacs à l'heure, ce qui montre quelle vitesse considérable on peut atteindre pratiquement avec des appareils fonctionnant bien.

Monte-charges des magasins généraux de Paris. — Une autre installation qui mérite d'être mentionnée est celle des magasins généraux de Paris, à la Villette, exécutée d'après les indications de notre collègue, M. Ad. Vuigner, administrateur de la Compagnie des entrepôts. Ici encore, le système hydraulique a été étudié, puis rejeté à la suite d'une enquête consciencieuse et d'autant plus éclairée que cette Compagnie possédait déjà, à la Villette même, d'autres magasins où des monte-charges hydrauliques fonctionnaient depuis longtemps. La comparaison était facile, et le système à vapeur fut adopté.

L'installation n'est encore faite que dans un seul magasin, ayant quatre appareils de 200 à 800 kilog. pour desservir les trois étages. Les marchandises à élever sont très-variées, ce qui a nécessité des dispositions d'établissement particulières; la plus grande hauteur d'élévation est de $12^m,50$.

La chaudière est placée à une certaine distance du magasin, dans un hangar spécial. Les tuyaux de vapeur qui desservent les appareils sont suspendus en l'air, sur une longueur d'environ 15 mètres, pour traverser la chaussée des voitures; puis ils entrent dans le magasin et se rendent aux divers cylindres. Ils sont suspendus par des tringles oscillantes, qui permettent aux dilatations de se produire sans fatiguer les joints.

La manœuvre de chaque appareil peut se faire de chacun des trois étages, au moyen d'une tringle qui traverse les planchers, disposée de la même façon que celle représentée en A dans la figure 9.

SONNETTES. (Figure 10.)

Les sonnettes sont montées sur roues ou sur bateau, selon la nature des travaux à exécuter. Le travail qu'elles peuvent produire dépend du poids du mouton et de la hauteur de chute : généralement les poids varient entre 300 et 1,200 kilog., et les plus hautes chutes ne dépassent pas 5 à 6 mètres. La rapidité avec laquelle se succèdent les coups frappés joue un grand rôle dans l'enfoncement des pieux; l'avantage est toujours aux engins qui frappent des coups plus rapprochés, toutes choses étant égales d'ailleurs.

La sonnette à traction directe, tout en étant d'une grande simplicité, comme l'indique la figure, possède toutes les qualités requises pour ces sortes d'engins : c'est-à-dire qu'elle permet l'emploi de moutons lourds à grandes chutes et que les coups frappés peuvent se succéder avec une grande rapidité.

Il est facile de se rendre compte de la marche de cette machine : l'ouvrier fait monter le mouton, comme il élève la charge dans les grues, en agissant sur le levier de manœuvre A, et il le fait retomber en agissant de même, mais en sens inverse. Le crochet de la chaîne saisit

lui-même le mouton pour l'enlever et il l'abandonne également à la descente, sans que personne ait à intervenir pour l'accrochage ou le décrochage. Pour cela, un coulisseau B, portant un déclic à queue, est attaché à l'extrémité de la chaîne; quand ce coulisseau arrive au bas de sa course à toucher le mouton, l'accrochage a lieu et la levée suit instantanément. Arrivé au haut de la course, le déclic rencontre une bride C, dont on règle la position au moyen d'un cordage à main D; le décrochage a lieu, le mouton tombe, et en même temps le coulisseau le suit dans sa descente, pour le saisir de nouveau aussitôt que la rencontre a lieu.

Comme la course du piston est limitée et qu'il faut que le mouton puisse commencer sa chute à des hauteurs variables, selon la longueur et l'enfoncement des pieux, le bout de la chaîne est amarré à un treuil qui l'enroule ou la déroule, selon qu'il y a lieu de donner plus ou moins de chaîne au mouton.

Parmi les résultats obtenus, je citerai les suivants :

Dans les travaux des ports actuellement en cours d'exécution à Venise, une de ces sonnettes, montée sur un ponton, enfonce de 20 à 25 pieux de 10 à 12 mètres par journée de 10 heures.

Aux sables d'Olonne, l'entrepreneur des travaux du port, M. Gaillot, avait installé, en 1872, deux sonnettes à vapeur : l'une, à traction directe; l'autre, à treuil. Le travail n'était possible qu'entre les marées : soit six à sept heures par jour au plus. Dans ces conditions, la sonnette à traction directe a enfoncé jusqu'à 28 pieux dans l'intervalle de deux marées, tandis que l'autre n'en enfonçait que 2 ou 3; rarement on arrivait à 4 dans le même temps, bien qu'avec une consommation double de charbon.

Au Havre, dans les travaux de l'avant-port, le travail présente beaucoup plus de difficultés. Les pieux sont battus dans des fouilles étayées de 7 mètres de profondeur, ce qui entraîne d'assez grandes pertes de temps pour le déplacement des sonnettes et la mise en fiche des pieux. D'après la note déjà citée à l'occasion des grues employées aux terrassements, chaque sonnette bat, en terrain dur, 15 pieux à 5 mètres de fiche par jour. En terrain tendre, la bonne moyenne du battage est de 16 pieux à 8 mètres de fiche; dans les meilleures journées, on est arrivé jusqu'à 20 pieux battus. La quantité de charbon brûlé est d'environ 200 à 210 kilog. par jour.

Un autre genre de travail auquel ces sortes d'engins peuvent être avantageusement employés est celui qui consiste à briser sous l'eau des couches rocheuses, afin de rendre possible leur extraction au moyen de la drague. On obtient ainsi un travail infiniment plus rapide et moins coûteux que par l'emploi de la mine.

Dans les travaux d'approfondissement récemment exécutés au port de Cette, l'entrepreneur, M. Demay, ayant eu à extraire des bancs de poudingue et de roches calcaires, d'une grande résistance, eut l'heureuse

idée de recourir à l'emploi d'une sonnette à vapeur, manœuvrant un pieu en fer, muni d'une lame d'acier. Ce pieu, dont le poids était de 1,200 à 1,300 kilog., tombant d'une hauteur de $3^{m},50$, agissait comme une puissante barre à mine, et a donné les meilleurs résultats qu'il était possible d'espérer dans un travail de ce genre.

Dans la rédaction de cette note, j'ai cherché à faire connaître mes travaux et à vulgariser des appareils qui rendent de réels services. J'ai apporté la plus consciencieuse exactitude dans la citation des résultats; tous les chiffres ont été rigoureusement observés et contrôlés : ils serviront à faire apprécier la valeur du système.

ÉTUDES

SUR

LA NITROGLYCÉRINE ET LA DYNAMITE

PAR A. BRÜLL.

INTRODUCTION.

En 1870 et 1871, nous avons eu l'honneur d'entretenir à plusieurs reprises la Société des Ingénieurs civils de la dynamite et de ses applications militaires. Depuis cette époque, le rôle de la dynamite et des explosifs organiques azotés en général s'est développé considérablement dans la plupart des pays civilisés, et l'on peut presque dire que la connaissance des propriétés, des usages et du mode d'emploi de ces substances forme aujourd'hui une nouvelle branche de l'art de l'ingénieur. Ces questions ont été étudiées dans un grand nombre d'ouvrages publiés dans ces derniers temps, en France, en Angleterre et en Allemagne. M. Berthelot, membre de l'Académie des sciences, et M. Abel, chimiste au département de la guerre, à Woolwich, ont travaillé la question au point de vue scientifique. M. Fritch, capitaine du génie français, et MM. Trauzl et Lauer, officiers du génie autrichien; MM. Champion, Barbe et Caillaux, membres de la Société, ont traité surtout des propriétés et des emplois des nouveaux explosifs. D'autres publications fournissent aussi d'intéressants renseignements sur ces questions encore neuves. Ces divers travaux constituent déjà une collection considérable. Nous avons mis à contribution tous ces documents, comme aussi les faits d'expérience que nous avons pu recueillir comme collaborateur de M. A. Nobel, inventeur de la dynamite, membre de la Société, et de M. P. Barbe, introducteur de la nouvelle industrie en France, en Espagne, en Italie et en Suisse.

Le Mémoire qu'on va lire se compose de deux parties : dans la première, on étudie, d'après les derniers travaux théoriques, le mode d'action des explosifs et la manière dont leur composition influe sur leurs propriétés spécifiques et sur les résultats qu'ils produisent ; la seconde traite de la composition, des propriétés, de la préparation, du mode d'emploi, de l'historique de la nitroglycérine, de la composition, de la préparation, des propriétés de la dynamite, de l'emballage, du transport et de l'emmagasinage, et des modes d'emploi de cette poudre. Parmi les applications, la note ne fait qu'énumérer les usages militaires du nouvel explosif, mais elle renferme l'exposé détaillé des méthodes suivies et des résultats obtenus dans l'industrie. Elle contient de nombreux renseignements sur les travaux à la roche : puits, galeries, tunnels et tranchées, sur les travaux submergés et sur les applications diverses. Enfin le dernier chapitre montre l'étendue des services rendus par la dynamite.

Considérations théoriques.

MODE D'ACTION.

Les substances explosives sont des composés susceptibles de dégager dans un temps très-court, par l'action mutuelle de leurs éléments, un très-grand volume de gaz à une température très-élevée. Ils produisent dans les milieux qui les contiennent une pression considérable et une grande somme de travail mécanique.

Ces substances sont tantôt des mélanges de corps simples (mélange tonant d'oxygène et d'hydrogène) ; tantôt des combinaisons chimiques (chlorure d'azote, nitroglycérine) ; tantôt encore des mélanges de plusieurs combinaisons (poudres au picrate de potasse) ou des mélanges de combinaisons et de corps simples (poudres à base de nitrates).

A cette diversité de composition correspond une égale variété dans la nature des actions chimiques qui engendrent la chaleur et dégagent les gaz.

Dans le mélange détonant d'oxygène et d'hydrogène, ces effets sont produits par la combinaison des deux corps simples, par la combustion de l'hydrogène.

Dans le chlorure d'azote, au contraire, ces effets sont dus à la séparation des deux éléments : la destruction de la combinaison liquide produit du chlore et de l'azote et développe de la chaleur.

Dans les poudres à base de nitrates ou de chlorates, la décomposi-

tion de ces sels absorbe de la chaleur; mais leur oxygène combure le soufre et le charbon, produit de l'acide carbonique et de l'acide sulfurique, en dégageant de la chaleur. Ces acides se combinent eux-mêmes en partie avec la base pour former des sels, ce qui donne encore de la chaleur. Ces deux ordres de réactions dégagent plus de calories que n'en a absorbé la destruction du nitrate ou du chlorate, de sorte qu'il y a en résumé production de gaz et dégagement de chaleur.

Enfin, dans les combinaisons explosives, comme le coton-poudre ou la nitroglycérine, il y a destruction de la combinaison avec absorption de chaleur et formation de nouvelles combinaisons gazeuses (vapeur d'eau, acide carbonique), avec production d'une quantité de chaleur beaucoup plus grande.

La chaleur produite par l'explosion est employée en partie à chauffer la matière qui entoure la charge et aussi l'air ambiant, une partie reste dans les produits solides et gazeux de la combustion, une autre est absorbée par la détente des gaz à mesure que l'espace qui leur est offert s'augmente par le déplacement du bourrage ou par l'écartement des parois du récipient. Toutes ces manifestations calorifiques sont des effets accessoires de l'explosion qui ne concourent pas au résultat proposé.

Le reste de la chaleur se manifeste sous forme de travail mécanique: elle met en vibration la matière enveloppante et l'atmosphère; elle s'use en frottements du gaz contre les parois de l'enveloppe; elle déforme ou broie une partie de celle-ci, elle en brise et en disloque d'autres; elle imprime des mouvements plus ou moins rapides et plus ou moins étendus au projectile, au bourrage et aux éclats du récipient.

Dans ce second groupe d'effets, les uns sont utiles au but qu'on se propose, les autres sont perdus ou même nuisibles.

S'il s'agit, par exemple, de communiquer une grande vitesse à un projectile, le recul de l'arme, la vibration du canon, le bruit dû à l'ébranlement de l'air, l'échauffement de l'arme et du projectile sont des effets inutiles ou nuisibles; la puissance vive dont s'anime la balle ou le boulet est le seul effet utile de l'explosion. Dans le sautage des roches, on ne recherche ni le broyage ni la vibration, ni la projection des éclats; la dislocation de la roche avec un déplacement modéré des éclats est le seul effet réellement utile.

Le nombre de calories qu'une explosion est susceptible de fournir, nombre qui permet d'apprécier l'ensemble des effets calorifiques et dynamiques que produira cette explosion, n'est donc pas la mesure de son effet utile dans le sens pratique de cette expression.

Cependant M. Berthelot établit que la comparaison des valeurs de ce nombre de calories pour divers explosifs permet, dans une certaine mesure, de comparer les effets qu'on peut en attendre pour une même application déterminée. En particulier, cette chaleur d'explosion ou

cette capacité dynamique donne une idée assez exacte de la valeur d'une substance explosive lorsqu'il s'agit de produire des effets de projection, parce que,dans ce cas, l'éffet utile emploie une fraction notable de la chaleur dégagée. La détermination de ces puissances calorifiques a donc une grande importance dans l'étude des explosifs.

Lorsqu'il s'agit, au contraire, d'obtenir des effets brisants, la somme de travail disponible ne permet plus de juger de l'efficacité du produit, puisque l'objet de l'explosion consiste à briser l'enveloppe; que cette rupture n'a lieu que lorsque la pression des gaz dépasse la résistance de celle-ci; qu'elle se produit alors aussitôt, mais en consommant seulement une faible partie du travail disponible, et que la chaleur qui continue à se dégager ne produit plus que des effets à peu près inutiles au résultat.

Dans ces sortes d'applications, ce qu'il importe le plus de connaître pour la comparaison pratique des divers explosifs, c'est la pression maxima que leur combustion peut produire dans le volume justement égal à leur propre volume, où la charge est ordinairement renfermée.

La pression peut être mesurée directement, mais les données expérimentales font encore défaut pour la plupart des explosifs autres que la poudre.

Cette pression pourrait aussi se calculer, d'après le volume de gaz, à la pression et à la température ordinaires que fournit l'explosion, et d'après le nombre des calories dégagées, si l'on pouvait appliquer dans ces calculs la loi de Mariotte, la loi de Gay-Lussac, et les coefficients de dilatation et de chaleur spécifique des gaz. Mais ces coefficients et ces lois physiques, qui ont été déterminés à des températures et à des pressions relativement faibles, ne sont plus applicables aux pressions considérables et aux températures élevées qui sont en jeu dans les phénomènes d'explosion.

On parvient néanmoins à apprécier la pression maxima qu'une explosion peut théoriquement engendrer dans un espace égal au volume occupé par la charge, ou plutôt à calculer pour chaque cas un nombre spécifique à peu près proportionnel à cette pression maxima, de façon à pouvoir comparer à ce point de vue la valeur des diverses substances. Ce nombre est le produit du volume de gaz, à la pression et à la température ordinaires, que dégagent les réactions chimiques de l'explosion, par la quantité de chaleur qu'elles produisent. On conçoit en effet que la pression doit être proportionnelle au volume de gaz; et, si les chaleurs spécifiques des gaz à très-haute pression et à volume constant étaient à peu près égales pour les divers gaz et constantes aux diverses pressions, la quantité de chaleur pourrait servir de mesure à la température, et permettrait d'apprécier, à égalité de volume primitif, la pression définitive. Il est supposable que la réalité des phénomènes s'écarte plus ou moins de ces hypothèses.

Quoi qu'il en soit, dans l'état actuel de nos connaissances et en l'absence des mesures expérimentales de la pression, le produit du volume par la quantité de chaleur semble être le nombre qui donne l'idée la plus juste des pressions comparatives que peuvent développer les divers agents explosifs.

Ainsi donc le nombre de calories dégagées par l'explosion d'une substance permet de juger de sa valeur comme poudre de projection, et le produit du même nombre par le volume des gaz à 0° et $0^m,76$ de pression donne une idée de son effet brisant.

Il est donc important de déterminer ou de calculer pour les diverses matières détonantes la chaleur totale d'explosion et le volume de gaz. Il faut pour cela connaître la composition chimique de la matière et la composition des produits de l'explosion. Mais on ne peut connaître que les produits définitifs de l'explosion, et dans bien des cas ces produits ne se forment pas directement, mais bien par suite de décompositions et de recompositions successives.

Si l'on fait détoner un mélange d'un volume d'oxygène et de deux volumes d'hydrogène il ne peut se former que de la vapeur d'eau ; elle se forme directement. De même, dans l'explosion du chlorure d'azote, il ne peut se produire que du chlore et de l'azote, et ces gaz se dégagent directement. Mais lorsque, au contraire, on reconnaît par l'analyse des produits de l'explosion de la poudre la présence du sulfate de potasse, du carbonate de potasse, de l'acide carbonique et d'un grand nombre d'autres sels et d'autres gaz, on peut être certain que le sulfate et le carbonate de potasse, par exemple, ne se sont pas formés tout d'une pièce, car ils ne peuvent subsister à la température très-élevée du début de l'explosion ; il s'est formé à ce moment des corps plus simples, qui n'ont pu se combiner ensuite que grâce à l'abaissement de température et à la diminution de pression qu'ont amenés la communication de la chaleur aux corps environnants, la détente des gaz dans le volume agrandi et la production des effets dynamiques.

Dans les cas de cette nature, la production de la chaleur est progressive, ses émissions successives correspondent aux diverses phases de réactions chimiques mal connues et dont le résultat seul peut être observé.

La somme totale de chaleur dégagée n'en est pas changée, mais les effets par lesquels cette chaleur se manifeste doivent en être fortement influencés : car ces effets dépendent des conditions au milieu desquelles la chaleur est produite, conditions qui se modifient d'un instant à l'autre du phénomène.

En particulier, la température et la pression maxima développées dans le volume occupé par la charge sont moins élevées lorsqu'il y a dissociation que lorsque l'action chimique produit du premier coup ses résultats ; et par contre, la température et la pression se maintiennent plus

longtemps dans le voisinage de leur maximum, par suite des émissions complémentaires de chaleur qu'occasionnent les recombinaisons des éléments dissociés. La dissociation tend donc à augmenter les effets de projection et à diminuer les effets brisants. Il convient donc, pour comparer les propriétés des explosifs, non-seulement de déterminer leur puissance calorifique et le volume de gaz qu'ils dégagent, mais de tenir compte aussi de la formation directe ou par phases successives des produits définitifs de leur combustion.

Pour calculer le volume de gaz, il suffit de connaître la composition des produits de l'explosion et de diviser par la densité de chacun d'eux le poids que représente le nombre d'équivalents donné par la formule.

La puissance calorifique peut être mesurée en produisant l'explosion dans un calorimètre.

Cette expérience paraît n'avoir encore été faite que sur la poudre à base de nitrate de potasse. Il serait bien désirable que des recherches du même genre fussent entreprises sur les nouvelles substances explosives.

FORCE DE LA POUDRE.

MM. Bunsen et Schischkoff ont trouvé qu'un kilogramme de poudre produisait 619c,5. Cette poudre avait la composition suivante :

Azotate de potasse			78,9
Soufre			9,8
Charbon.	Carbone	7,6	11,0
	Hydrogène	0,4	
	Oxygène	3,0	
			99,7

Les produits de l'explosion ont été analysés et ont fourni la composition ci-dessus :

Sulfate de potasse	42,2
Carbonate de potasse	12,6
Hyposulfite de potasse	3,2
Sulfure de potassium	2,1
Sulfocyanure de potassium	0,3
Sesquicarbonate d'ammoniaque	2,8
Azotate de potasse échappé à la réaction	3,7
Charbon échappé à la réaction	0,7
Soufre échappé à la réaction	0,1
Acide carbonique	20,1
Oxyde de carbone	0,9
Azote	9,9
Hydrogène sulfuré	0,18
Hydrogène	0,02
Oxygène	0,14
Ensemble	98,9
Perte	1,1
Total	100,0

Les gaz avaient un volume de 193 litres à 0° et à $0^m,760$ de pression.

A défaut d'expériences directes, on peut calculer la chaleur dégagée par l'explosion en la considérant comme la différence entre la quantité de chaleur que produirait la formation, à partir de leurs éléments, de tous les produits de la combustion, et la quantité de chaleur engendrée par la formation, à partir de ces mêmes éléments, de la matière explosive.

Cela revient à supposer que les corps simples dont se compose l'explosif se désunissent d'abord moyennant une dépense de chaleur égale à celle qu'il a fallu pour les combiner, puis se recombinent entre eux de façon à produire justement les composés que forment les produits de l'explosion.

Nous allons exposer d'après cette méthode les calculs relatifs à la poudre de guerre et à la nitroglycérine.

M. Link a analysé la poudre de guerre. Cette poudre contenait :

Nitrate de potasse.	74,70
Soufre.	12,45
Charbon.	12,25
Total.	99,40

En déduisant les matières échappées à la combustion et les produits accessoires, les analyses de l'auteur peuvent être représentées par l'équation suivante :

$$8\,AzO^6K + 6\tfrac{1}{2}S + 15C = 4\,So^4K + 2\tfrac{3}{4}CO^3K + 1\tfrac{1}{4}KS^2 + 8Az + 11\tfrac{1}{2}CO^2 + \tfrac{3}{4}CO.$$

Cette équation donne à la poudre une composition un peu différente de celle qu'a fournie l'analyse. En calculant d'après les équivalents, on trouve :

$8\,AzO^6K = 8(14 + 6 \times 8 + 39,1)$.	=	$808^{gr},8$
$6\tfrac{1}{2}S = 6\tfrac{1}{2} \times 16$.	=	104 ,0
$15C = 15 \times 6$.	=	90 ,0
Total.		$1002^{gr},8$

La chaleur dégagée par la formation d'un équivalent de nitrate de potasse depuis ses éléments n'a pas été mesurée, mais M. Berthelot l'a calculée d'après la chaleur de combustion observée pour la poudre par MM. Bunsen et Schischkoff. La chaleur de formation des autres constituants de la poudre et celle de tous les autres produits de l'explosion étant connues par les observations de divers physiciens, M. Berthelot a posé une équation égalant la chaleur de formation depuis leurs éléments de l'ensemble des produits de la combustion à la somme de la chaleur de formation de la poudre depuis ses éléments et de la chaleur de l'explosion mesurée par les deux savants allemands. En résolvant cette équation par rapport à la chaleur de formation du nitrate de potasse, qui était la seule quantité inconnue, M. Berthelot a trouvé 129 ca-

lories pour la chaleur de formation depuis ses éléments, d'un équivalent de nitrate de potasse pesant 101gr,1.

Sur ces 129 calories, la formation, depuis ses éléments et l'eau, de l'acide azotique étendu en produit. 28,6
La formation, depuis ses éléments et l'eau, de la potasse étendue. 78,1
L'union de l'acide étendu et de la base étendue. 13,8
La dessiccation du nitrate de potasse étendu. 8,6
Total égal. 129,1

Il est regrettable qu'un coefficient aussi important pour l'étude des explosifs n'ait encore été obtenu que d'une façon aussi détournée.

La chaleur de formation de la poudre de guerre est donc pour 1002gr,8 de $8 \times 129 = 1032$ calories :

dont $8 \times 28^c,6 = 228^c,8$, dues à la formation de l'acide étendu;
$8 \times 78^c,1 = 624^c,8$, dues à la formation de la potasse étendue;
$8 \times 13^c,8 = 110^c,4$, dues à l'union de l'acide et de la base;
et $8 \times 8^c,6 = 68^c,8$, dues à la dessiccation du sel.
Total égal. . . 1032 calories.

Les produits de la combustion comprennent du sulfate de potasse, du carbonate de potasse, du sulfure de potassium, de l'azote, de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone. La chaleur de ces divers corps a été mesurée directement ou bien déduite par le calcul de déterminations expérimentales.

On trouvera le détail de ces calculs dans le magnifique travail de M. Berthelot; nous nous contenterons d'appliquer les nombres donnés par le savant physicien.

Le calcul de la chaleur de formation des produits de l'explosion s'établit ainsi :

		SO^4K	$4\,SO^4K$
$4\,SO^4K$....	Formation de l'acide sulfurique étendu.	68,9	275,6
	Formation de la potasse étendue.	78,1	312,4
	Formation du sel dissous.	16,0	64,0
	Dessiccation.	3,1	12,4
	Total.	166,1	664,4
		CO^3K	$2\frac{3}{4}\,CO^3K$
$2\frac{3}{4}\,CO^3K$..	Formation de l'acide carbonique.	47,0	129,250
	Formation de la potasse étendue.	78,1	214,775
	Formation du sel dissous.	12,8	35,200
	Dessiccation.	— 3,3	— 9,075
	Total.	134,6	370,150
$1\frac{1}{4}\,KS^2$ (compté comme KS)	$1\frac{1}{4}$. . . . . $\times$	45,3	56,625
$11\frac{1}{2}\,CO^2$ —	$11\frac{1}{2}$. . . . . $\times$	47,0	540,5
$\frac{3}{4}\,CO$ —	$\frac{3}{4}$. . . . . $\times$	12,5	9,375
Total.			1641,05
Retranchant la chaleur de formation de la poudre.			1032,00
On a la chaleur dégagée par l'explosion.			609,05

Pour 1002gr,8 de poudre de guerre, soit environ 608 calories par kilogramme, c'est à peu près la valeur trouvée expérimentalement par MM. Bunsen et Schischkoff.

Pour calculer le volume des gaz et vapeurs résultant de l'explosion, établissons d'abord le poids de chacun d'eux, d'après le second membre de notre équation.

$4 So^4K = 4 (16 + 4 \times 8 + 39,1)$.	=	348gr,4
$2\frac{3}{4} CO^3K = 2\frac{3}{4} (6 + 3 \times 8 + 39,1)$. . . .	=	190 ,0
$1\frac{1}{4} KS^2 = 1\frac{1}{4} (39,1 + 2 \times 16)$.	=	88 ,9
$8 Az = 8 \times 14$.	=	112 ,0
$11\frac{1}{2} CO^2 = 11\frac{1}{2} (6 + 2 \times 8)$.	=	253 ,0
$\frac{3}{4} CO = \frac{3}{4} (6 + 8)$.	=	10 ,5
Total égal.		1002gr,8

Appliquons maintenant les densités ramenées à 0° et 0,76 de pression.

POIDS.	DÉSIGNATION.	DENSITÉ.	VOLUME.	
gr. 348,4	$So^4 K$	»		l.
190,0	$CO^3 K$	»		89,00
88,9	KS^2	»		
112,0	Az	1,256167	89,16	
253,0	CO^2	1,977414	127,94	225,59
10,5	CO	1,237580	8,49	
1002,8				314,59

C'est environ 225 litres de gaz permanents pour 1 kilogramme de poudre.

Le produit du nombre de calories par le volume des gaz permanents est donc égal à $608 \times 225 = 137\,000$.

La vaporisation totale de tous les composés donnerait 314 litres, au lieu de 225, en supposant, conformément aux observations de Rumford, que le carbonate de potasse, le sulfate de potasse et le sulfure de potassium affectent la forme gazeuse dans les premiers moments du phénomène, et en ramenant par le calcul le volume de ces vapeurs à la température de 0° et à la pression atmosphérique.

Il convient de remarquer que la détermination de la chaleur d'explosion et du volume des gaz repose sur la connaissance supposée des produits de la combustion. Or il y a beaucoup de cas où cette connaissance n'est pas le résultat d'analyses directes. Lorsque la substance contient une quantité d'oxygène suffisante pour comburer complétement l'hydrogène, le carbone, le soufre et les autres corps combustibles qu'elle renferme, on peut admettre que l'eau, l'acide carbonique et l'acide sulfurique se forment réellement et que ces deux gaz se combinent avec la potasse.

Comme on l'a vu, chaque équivalent de sulfate de potasse dégage en se formant 166^{c},1 ; chaque équivalent de carbonate de potasse en donne 134,6. La formation de ces deux sels, dans le cas particulier de la poudre de guerre, produit 664,4 + 370,9 = 1035^{c},3, soit beaucoup plus à elle seule que le total de calories résultant de l'explosion. Or, lorsqu'il n'y a pas dans la matière détonante assez d'équivalents d'oxygène pour brûler complétement les éléments combustibles, on ne peut pas savoir sur lesquels des éléments l'oxygène se portera de préférence et dans quelle proportion les composés définitifs se formeront. Mais. M. Berthelot a conclu de quelques analyses qu'en général il tendait à se produire autant de sulfate de potasse et de carbonate de potasse que le comporte la quantité d'oxygène disponible, de sorte que la combustion produirait ainsi le maximum possible de chaleur.

On voit que le résultat de ces sortes de calculs dépend beaucoup des hypothèses que l'on fait sur la constitution des produits de l'explosion. Il faut bien comprendre que la décomposition de la poudre en éléments, et les combinaisons de ces éléments entre eux, n'ont pas lieu réellement comme le supposent les calculs qui viennent d'être développés. La chaleur de 609 unités résultant de l'explosion n'est pas en réalité la différence entre 1641 calories effectivement fournies par la combinaison de l'oxygène, de l'azote, du potassium, du carbone et du soufre, et 1032 calories absorbées pour dégager de leurs combinaisons ceux de ces corps simples qui constituaient le nitrate de potasse. Or il y aurait un grand intérêt à se faire une idée même approximative des réactions qui ont réellement lieu, qui engendrent la chaleur développée et sont ainsi la cause directe des effets de l'explosion. C'est pour arriver à cette notion que nous avons groupé d'une façon particulière dans le tableau suivant les quantités de chaleur absorbées et dégagées par les décompositions et combinaisons fictives sur lesquelles sont basés les calculs qui précèdent.

Calories absorbées.		Calories dégagées.			Calories résultantes.	
Dissolution du nitrate de potasse dans un excès d'eau.	68^{c},8	Formation d'acide sulfurique étendu d'eau...		275^{c},600	Passage de l'oxygène, de l'azote au carbone et au soufre 954,725 — 228,8 =	725^{c},925
Décomposition du sel dissous en acide nitrique étendu et en potasse dissoute dans un excès d'eau....	110 ,4	Formation d'acide carbonique....	129,250 540,500	679,125	Passage de la potasse de l'acide nitrique à l'acide sulfurique, à l'acide carbonique et au soufre 99,200 — 110,400 =	— 11,200
		Formation d'oxyde de carbone....	9,375			
Décomposition de l'acide azotique étendu en ses éléments plus de l'eau..........	228 ,8	Formation de potasse dissoute dans un excès d'eau..............	312,400 214,775	583,800	Décomposition et recomposition de la potasse 583,8 — 624,8 =	— 41,0
		Formation de sulfure de potassium.	56,625			
Décomposition de la dissolution étendue de potasse en ses éléments plus de l'eau.............	624,8	Formation d'azotate et de carbonate de potasse dissous dans un excès d'eau......................	64,000 35,200	99,200	Addition et enlèvement d'eau : 3,325 — 68,8 =	— 65,475
		Dessiccation de l'azotate et du carbonate de potasse............	12,400 —9,075	3,325		
Total de la chaleur consommée.......	1032 ,8	Total de la chaleur développée......		1641,050	Total........	608,250

Ainsi la combustion du carbone et du soufre à l'aide de l'oxygène de l'acide azotique produit		725°,925
Le rôle de la potasse, rôle presque entièrement fictif, consisterait à absorber 11,2 + 41,0.	=	52 ,200
L'intervention purement fictive de l'eau absorberait. . . .		65 ,475
De sorte que la chaleur résultante, qui s'élève à.		608°,250

représente, en résumé, environ les $\frac{5}{6}$ de la chaleur que dégage la combustion du carbone et du soufre à l'aide de l'oxygène de l'acide azotique.

Au point de vue des gaz dégagés, le tableau de la page 399 montre que les produits de la combustion du carbone entrent dans le total de 314 litres 59 pour 127,94 + 8,49, soit environ 136,43, et l'azote du nitre pour 89,16 ; les sels vaporisés n'ajoutent à ce total que 89 litres.

Enfin il convient de remarquer que les produits de la combustion, sels de potasse et acide carbonique, ne se forment pas dans les premiers instants de l'explosion, et ne peuvent prendre naissance que successivement, à mesure que la température diminue. La dissociation joue un rôle d'autant plus prononcé que ces produits sont plus complexes.

La pression maxima, dont le produit $608 \times 225 = 137000$, nous a donné la mesure proportionnelle, ne peut donc pas être atteinte; la pression réelle doit s'en écarter au début très-notablement. Mais, au lieu de diminuer aussi rapidement que le comporterait la détente et les diverses dépenses de chaleur, elle est soutenue par les émissions de calorique dues à la formation des combinaisons de plus en plus avancées des éléments dissociés, elle s'abaisse moins vite.

Il résulte de ces phénomènes que la poudre de guerre est moins brisante, mais qu'elle est susceptible de produire des effets de détente de plus d'intensité et d'une plus longue durée que ne le ferait supposer la valeur du produit caractéristique 137000.

Les effets sont moins brisants et plus prolongés que ceux d'une substance pour laquelle ce produit serait le même, mais dont l'explosion fournirait des produits moins complexes.

FORCE DE LA NITROGLYCÉRINE.

Nous passerons maintenant à l'étude de la nitroglycérine. La décomposition de cette substance peut être représentée par l'équation :

$$C^6H^2(AzO^4H)^3 = 6CO^2 + 5HO + 3Az + O.$$

On voit d'abord que la nitroglycérine jouit de cette propriété remarquable de renfermer plus d'oxygène qu'il n'en faut pour la combustion entière du carbone et de l'hydrogène qu'elle contient. Il y a donc moins

d'incertitude sur la nature des produits de la combustion : tout le carbone doit passer à l'état d'acide carbonique, et tout l'hydrogène se transforme en vapeur d'eau. L'excédant d'oxygène que la formule suppose resté à l'état libre forme dans certains cas un peu de bioxyde d'azote. M. L'Hôte a communiqué à l'Académie des sciences (*Comptes rendus*, 1871, 2ᵉ semestre, n° 17, 25 octobre) une analyse des produits de la combustion de la nitroglycérine détonant dans un eudiomètre. Cette analyse s'écarte notablement des résultats que fournit l'application de la formule, tant au point de vue du volume total des gaz qu'en ce qui concerne la proportion de chacun d'eux. Mais il n'y a pas lieu de s'arrêter à cette divergence, parce que, dans l'expérience de M. L'Hôte, la détonation a lieu dans un espace beaucoup plus grand que le volume même de la charge ; ce qui influe sur la nature des actions chimiques, parce que l'acide azotique a agi sur le mercure de l'eudiomètre pour former de l'azotate de mercure, et enfin parce que l'eau n'a pas été dosée.

La formule de la nitroglycérine correspond à la composition suivante :

6 C.	36 grammes.
2 H.	2
$3\,(Az\,O^6\,H) = 3\,(14 + 6 \times 8 + 1)$. =	189
	227 grammes.

Pour calculer la chaleur produite par la réaction que représente l'équation, il faut déterminer la chaleur de formation de la nitroglycérine à partir de ses éléments, la chaleur de formation des produits de la combustion à partir de leurs éléments, et prendre la différence des deux nombres.

La chaleur de formation de la nitroglycérine depuis ses éléments est égale à la chaleur de formation de la glycérine depuis ses éléments, plus celle de l'acide azotique monohydraté depuis ses éléments, plus encore la chaleur dégagée dans l'union de ces deux corps, moins la chaleur de formation de l'eau qui forme le résidu de la réaction.

M. Berthelot évalue la chaleur de formation de la glycérine à.	158,0
Celle de l'acide azotique monohydraté, à 55,5 pour un équivalent, soit pour 3 équivalents.	166,5
M. Berthelot a mesuré au calorimètre la chaleur dégagée par l'action de trois équivalents d'acide azotique monohydraté sur un équivalent de glycérine et l'a trouvée égale à. . . .	13,0
Cela donne un total de.	337,5
Les 6 équivalents d'eau qui se forment et se séparent enlevant à raison de 34,5 calories par équivalent.	207,0
Il reste ainsi.	130,5

La chaleur de formation depuis leurs éléments des produits de la combustion s'établit comme suit, savoir :

6 CO^2.	6 × 47	282c
5 HO.	5 × 34,5	172,5
		454,5

Mais les cinq équivalents d'eau sont à l'état gazeux, ce qui diminue le résultat de 537 calories par kilogramme, soit pour 5 HO = 45 grammes	24,0
Il reste donc	430,5
Et si l'on en retranche la chaleur de formation de la nitroglycérine depuis ses éléments, soit	130,5
Il reste	300,0

pour la chaleur produite par l'explosion de 227 grammes de nitroglycérine, soit par kilogramme 1 321 calories.

Pour calculer le volume des gaz produits, posons d'abord le poids de chacun de ces gaz :

$6CO^2 = 6(6+16)$	=	132 grammes.
$5HO = 5(1+8)$	=	45
$3Az = 3 \times 14$	=	42
O	=	8
Total		227 grammes.

Divisons maintenant le poids de chaque gaz par la densité à 0° et $0^m,760$:

	Densité.	Volume.
132gr CO^2	1,977414	66l,75
45 HO	0,806302	55 ,81
42 Az	1,256167	33 ,43
8 O	1,429802	5 ,60
Total		161l,59

Le volume de gaz dégagé par kilogramme s'élève ainsi à

$$\frac{1000}{227}\,161,59 = 712 \text{ litres.}$$

Le produit du nombre de calories par le volume de gaz est donc égal à $1321 \times 712 = 940\,552$.

Si nous recherchons, comme pour la poudre de guerre, la vraie source de cette énorme quantité de chaleur développée par l'explosion de la nitroglycérine, nous pouvons dresser le tableau suivant :

Calories absorbées.		Calories dégagées.	Calories résultantes.
Combinaison avec la nitroglycérine de six équivalents d'hydrogène et de six équivalents d'oxygène......... —207			
Séparation de la glycérine d'avec l'acide azotique. 13 Décomposition de la glycérine en ses éléments... 158	Isolement des six équivalents de carbone et de deux équivalents d'hydrogène de la glycérine. —36	Formation de l'acide carbonique....... 282 Formation de deux équivalents d'eau à l'état gazeux, 69 — 24...... = 45	Isolement des six équivalents de carbone et de deux équivalents d'hydrogène de la glycérine......... 36
Décomposition de l'acide azotique monohydraté en ses éléments.. 166,5 Reconstitution de l'eau de l'acide azotique monohydraté, 3 × 34,5... — 103,5	Décomposition de l'acide azotique monohydraté en azote, oxygène et eau.. 63		Combustion de ces éléments par l'oxygène de l'acide azotique, 282 + 45 — 63 = 264
	Totaux..... 27	327	300

On voit d'après ce tableau que les 300 calories que donne l'explosion d'un équivalent de nitroglycérine proviennent pour 88 pour 100 de la combustion du carbone et de l'hydrogène provenant de la glycérine à l'aide de l'oxygène de l'acide azotique. Le carbone et l'hydrogène qui constituent les combustibles sont engagés dans une combinaison ; mais ils y sont si peu retenus, ou autrement cette combinaison est tellement instable, que leur mise en liberté, loin de consommer de la chaleur, produit 36 calories.

Les produits de la combustion sont de l'acide carbonique, de la vapeur d'eau, de l'azote et de l'oxygène.

L'acide carbonique et la vapeur d'eau ne peuvent probablement pas se former au début de l'explosion à cause de la très-haute température ; ils se produisent successivement pendant que celle-ci s'abaisse. Toutefois le rôle de la dissociation sera moins important que pour la poudre, parce que l'acide carbonique et l'eau sont des produits moins complexes et par suite plus susceptibles d'exister à haute température que les produits de la déflagration de la poudre, et aussi parce que les pressions, bien plus élevées qu'avec la poudre, tendent à combattre l'effet dissociant de la haute température.

COMPARAISON DE LA POUDRE ET DE LA NITROGLYCÉRINE.

En résumant les résultats des calculs et des raisonnements qui précèdent, on peut établir comme suit la comparaison au point de vue théorique de la poudre de guerre et de la nitroglycérine.

La chaleur d'explosion d'un kilogramme de poudre de guerre est égale à 608 calories; celle d'un kilogramme de nitroglycérine est de 1321 calories, soit plus du double.

A poids égal, l'ensemble des effets calorifiques et dynamiques de la nitroglycérine est plus que double de la somme des effets de la poudre.

Ce rapport théorique sera à peu près le rapport des effets utiles des deux substances lorsqu'on les emploiera surtout à projeter. Ainsi, dans une arme suffisamment résistante pour l'emploi de la nitroglycérine, il faudrait à peu près une charge moitié moindre que la charge de poudre pour lancer le même projectile à la même distance.

Le volume de gaz permanents dégagés par 1 kilogramme de poudre de guerre est de 225 litres; en comptant en plus les sels vaporisés, le volume développé est de 314 litres.

Un kilogramme de nitroglycérine produit 712 litres de gaz permanents, soit trois fois plus de gaz permanents que la poudre.

Le produit de la chaleur d'explosion par le volume de gaz est pour

1 kilogramme de poudre.	137 000
et pour 1 kilogramme de nitroglycérine.	940 500

soit six à sept fois plus grand.

La pression maxima que peut théoriquement développer 1 kilogramme de nitroglycérine dans une capacité de 1 litre serait donc six ou sept fois celle que donnerait 1 kilogramme de poudre.

Les produits de combustion de la nitroglycérine sont peu susceptibles de dissociation, malgré la très-haute température; ceux de la poudre sont plus complexes, et par suite doivent subir davantage la dissociation, malgré la température plus faible, eu égard surtout à ce que la pression est plus faible.

Donc la pression réelle, toutes choses égales d'ailleurs, s'approchera plus du maximum théorique pour la nitroglycérine que pour la poudre; elle se soutiendra relativement mieux et plus longtemps pour cette seconde substance : mais, en raison du point de départ moins élevé, elle aura pour toutes les phases du phénomène des valeurs beaucoup moindres.

Dans les applications où l'on se propose surtout de produire des ruptures, la nitroglycérine donnera donc, à poids égal, plus de sept fois autant d'effet brisant que la poudre de guerre.

Mais, comme les substances explosives sont, dans la plupart des cas de la pratique, dans les armes comme dans les trous de mine, confinées dans un espace justement égal à leur volume, la comparaison de leur action à volume égal a plus d'intérêt encore que la comparaison de leurs effets à égalité de poids.

Or la poudre de guerre a une densité d'environ $0^k,9$, tandis que le poids d'un litre de nitroglycérine est de $1^k,6$. Les chaleurs d'explosion sont donc

dans le rapport de $\frac{1321 \times 1,6}{608 \times 0,9} = \frac{2113,6}{547,2}$ à volume égal. C'est, à peu de chose près, le rapport de 4 à 1. Les pressions théoriques maxima sont dans le rapport de $\frac{940500 \times 1,6}{137000 \times 0,9}$, soit 13 environ pour un volume égal des deux substances ; et le rapport entre les pressions maxima, étant tenu compte de la dissociation, est encore plus considérable, et donne la mesure de l'efficacité comparative de la nitroglycérine pour les ruptures.

Pour rechercher, à la lumière des considérations théoriques qui ont été exposées, les motifs de cette grande supériorité de la nitroglycérine sur la poudre, tant au point de vue des effets de projection que des effets de rupture, il faut d'abord rappeler la composition des deux substances.

La poudre de guerre, que nous avons prise pour exemple, a pour formule :

$$6\tfrac{1}{2}S + 15C + 8(AzO^6K) = 1002^{gr},8.$$

La nitroglycérine est représentée par la formule :

$$C^6H^2 3(AzO^6H) = 227 \text{ grammes.}$$

La composition en poids d'un kilogramme et d'un litre de chacune des deux substances est inscrite au tableau suivant :

DÉSIGNATION DES CORPS.	POUDRE.		NITROGLYCÉRINE.	
	1 kil.	1 litre.	1 kil.	1 litre.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Carbone	90	81,0	159	254,4
Soufre	104	93,6	»	»
Hydrogène	»	»	9	14,4
Acide azotique anhydre	431	387,9	713	1140,8
Potasse combinée avec l'acide azotique	375	337,5	»	»
Eau combinée avec l'acide azotique	»	»	119	190,4
Totaux	1000	900,0	1000	1600,0

Comparons les corps qui constituent un litre de poudre et un litre de nitroglycérine ; nous trouvons d'abord pour les corps combustibles :

DÉSIGNATION des CORPS.	POUDRE.		NITROGLYCÉRINE.	
	Poids de chaque corps.	Calories produites par l'oxydation complète.	Poids de chaque corps.	Calories produites par l'oxydation complète.
Carbone	81gr,0	673c	254gr,4	1993c
Soufre	93gr,6	»	»	»
Hydrogène	»	202	14gr,4	497
Totaux	174gr,6	875c	268gr,8	2490c

On voit qu'un litre de nitroglycérine renferme en poids 55 p. 100 de plus de substances combustibles qu'un litre de poudre, en raison de sa plus grande densité, et que ces substances sont susceptibles, en cas d'oxydation complète, de fournir près de trois fois autant de chaleur : ce qui vient de la faible puissance calorifique du soufre et de la grande puissance calorifique du peu d'hydrogène que contient la nitroglycérine.

De plus, nous avons vu que cette oxydation complète se produit théoriquement dans la déflagration de la nitroglycérine, tandis qu'elle ne peut avoir lieu pour la poudre, qui ne contient pas assez d'oxygène pour cela.

Il faut ajouter que les combustibles de la poudre sont à l'état libre, tandis que ceux de la nitroglycérine se détachent pour brûler d'une combinaison dont la destruction paraît fournir un peu de chaleur.

Quant à l'oxygène comburant, il provient dans l'un et l'autre cas de l'acide azotique ; or un litre de nitroglycérine en renferme 1140gr,8, et un litre de poudre n'en contient que 387gr,8, soit environ le tiers : ce qui provient d'abord de la différence des densités, et ensuite et surtout de ce que chaque équivalent d'acide azotique est uni à un équivalent de potasse pesant 49gr,1 dans la poudre, tandis qu'il est uni dans la nitroglycérine avec un équivalent d'eau qui ne pèse que 9 grammes.

Le calorique à fournir pour détacher l'oxygène de sa combinaison est d'ailleurs égal dans les deux cas pour un même poids d'oxygène.

En dehors des corps combustibles et de l'oxygène comburant, le rôle calorifique de la potasse dans la poudre et de l'eau supposée combinée avec l'acide azotique dans la nitroglycérine paraît se réduire à peu de chose.

On voit donc en résumé que les causes principales de la supériorité des effets de la nitroglycérine sur la poudre sont : sa plus grande densité, le remplacement du soufre par le charbon et par un peu d'hydrogène, la réunion de ses éléments en une combinaison facile à détruire, sa richesse en oxygène et la substitution de l'eau à la potasse comme véhicule de l'acide azotique.

FORCE DE LA DYNAMITE N° 1

La dynamite n° 1 se compose de 75 p. 100 de nitroglycérine et de 25 p. 100 de silice. La chaleur d'explosion est égale à $0,75 \times 1321 = 991^{c}$.

Le volume des gaz dégagés est égal à $0,75 \times 712 = 534^{l}$.

Mais les 991 calories sont employées en partie à échauffer les 534 litres de gaz, en partie à échauffer la silice. La capacité calorifique est à peu près la même pour les gaz et et pour l'absorbant. On peut donc admettre que les gaz reçoivent les 75 p. 100 de la chaleur. Le produit caractéristique est donc $0,75991 \times 534 = 396\,895$.

FORCE DE LA POUDRE A BASE DE NITRATE DE SOUDE.

La composition de la poudre à base de nitrate de soude est représentée par la formule :

$$8\,AzO^6Na + 6S + 13C$$

Elle correspond à la teneur suivante :

Nitrate de soude.	680	grammes ou	0,796
Soufre.	96	—	0,113
Charbon.	78	—	0,091
Total.	854	—	1,000

L'explosion de cette poudre est représentée par l'équation :

$$8AzO^6Na + 6S + 13C = 5SO^4Na + 2CO^3Na + NaS + 8Az + 11\,CO^2$$

La chaleur de formation de la poudre, à partir des éléments, due à la formation du nitrate de soude :

$$AzO^6Na = Az + 6O + Na$$

est pour chaque équivalent de $122^c,1$, soit pour 8 équivalents :

$$8 \times 122^c,1 \ldots\ldots\ldots = \quad 976^c,8$$

La chaleur de formation, à partir des éléments des produits de l'explosion, se calcule ainsi, savoir :

$$So^4Na = S + 4O + Na = 159,1 - 5 \times 159,1 \ldots = \quad 795,5$$
$$Co^3Na = C + 3O + Na = 131,7 - 2 \times 131,7 \ldots = \quad 263,4$$
$$NaS = Na + S \ldots\ldots\ldots = \quad 43,0$$
$$Co^2 = C + O^2 = 47 - 11 \times 47 \ldots\ldots = \quad 517,0$$

Total. . . . . . . 1618,9 ci. 1618,9

La chaleur de l'explosion, égale à la différence, ressort donc à 642,1 pour 854 grammes, soit 752 calories par kilogramme.

Le volume de gaz dégagé s'établit ainsi :

DÉSIGNATION DES GAZ.	VOLUME D'UN ÉQUIVALENT.	VOLUME TOTAL.
	litres.	litres.
8 Az	11,145	89,160
11 Co^2	11,126	122,386
Total.	»	211,546

211,546 litres pour 854 grammes font 248 litres par kilogramme.

Le produit de la chaleur d'explosion par le volume de gaz, non compris le volume des sels vaporisés, est donc :

$$752 \times 248 = 186\,496.$$

FORCE DE LA DYNAMITE N° 3.

La composition de la dynamite n° 3, de la fabrique de Paulille, est la suivante :

Nitrate de soude	70
Charbon	10
Nitroglycérine	20
Total	100

Cette composition correspond à la formule :

9534 AzO^6Na + 19 295 C + 1020 $C^6H^33AzO^6H$ = 9534 × 85g + 19295 × 6g + 1020 × 227g = 1 157 700gr.

L'explosion complète de cette substance est représentée par l'équation suivante :

9534 AzO^6Na + 19 295 C + 1020 $C^6H^33AzOH^6$ = 9534 CO^3Na + 5 100 HO + 15 881 CO^2 + 12 594 Az + 10 100 O

La chaleur de formation de cette poudre, à partir de ses éléments, se calcule comme suit :

Nitrate	9534 × 122,1 =	1164101c	
Nitroglycérine	1020 × 130,5 =	133110	
Total		1297211	ci. 1 297 211

La chaleur de formation, à partir des éléments des produits de la combustion, s'établit ainsi :

CO^3Na — 9534 × 131,7	=	1255 628c
HO — 5100 × 29,667	=	151 302
CO^2 — 15881 × 47	=	746 407
Total		2153 337 ci. 2153 337

La chaleur d'explosion est égale à la différence, soit à 856 126 pour 1157k,700, ou 740 calories par kilogramme.

Le volume des gaz dégagés peut se calculer comme suit, savoir :

DÉSIGNATION DES GAZ.	VOLUME D'UN ÉQUIVALENT.	VOLUME TOTAL.
	litres.	litres.
5100 HO	11,162	56,926
15881 Co^2	11,126	174,692
12594 Az	11,145	140,360
18100 O	5,595	56,510
Total	»	428,488

428 488 litres pour 1157k,700 font 370 litres par kilogramme.

Le produit de la chaleur d'explosion par le volume des gaz est ainsi de

740 × 370 = 273 800

COMPARAISON DES POUDRES ET DES DYNAMITES.

Si l'on rapproche les résultats des calculs qui précèdent, on obtient le tableau suivant :

DÉSIGNATION.	COMPOSITION.	CHALEUR d'explosion.	VOLUME de gaz.	PRODUIT caractéristique.	EFFETS de la dissociation.
Poudre de guerre.	Nitrate de potasse.. 74,70 Soufre.... 12,45 Charbon... 12,25	608c	225l	187000	Considérables.
Poudre à base de nitrate de soude.	Nitrate de soude... 79,6 Soufre.... 11,3 Charbon... 9,1	752	248	186496	Considérables.
Nitroglycérine	$C^6H^23(AzO^6H)$...	1321	712	940500	Faibles.
Dynamite n° 1....	Nitroglycérine.. 75 Silice........ 25	991	584	396896	Faibles.
Dynamite n° 3...	Nitrate de soude..... 70 Charbon.... 10 Nitroglycérine 20	740	370	273800	Considérables.

Les indications de ce tableau rendent assez bien compte des différences constatées par la pratique dans les propriétés et les effets des cinq substances qui y figurent. Le même mode d'analyse conviendrait à d'autres explosifs. Mais il convient de se mettre en garde contre les conclusions trop absolues qu'on pourrait être tenté de tirer de ces comparaisons. La nature des réactions chimiques et la quantité de chaleur qu'elles fournissent ne sont pas les seuls éléments à consulter pour se rendre compte de la valeur d'un composé au point de vue des effets de son explosion. Il y a des mélanges dont la composition semble devoir, par l'action chimique des éléments, promettre un dégagement de chaleur considérable, mais qui ne font pas explosion, du moins sous l'influence du feu, du choc ou de la détonation des amorces. Il en est d'autres qui produisent bien le nombre considérable de calories que le calcul indique, mais qui produisent cette chaleur trop lentement pour constituer des explosifs énergiques. Ces considérations et d'autres encore devraient être invoquées pour faire plus complétement l'étude théorique d'un explosif. Mais les recherches des savants sont encore peu avancées sur ces questions. Nous nous bornerons donc à cette simple mention et nous passerons maintenant à l'étude spéciale de la nitroglycérine et de la dynamite.

Composition de la nitroglycérine.

La nitroglycérine est le résultat de l'action de l'acide azotique sur la glycérine. Les divers chimistes lui donnent pour formule :

$$C^6H^2 3\,(AzO^6H)$$

ou : $$C^6H^5O^3 3\,(AzO^5)$$

ou bien encore : $$C^6H^5O^6 3\,(AzO^4)$$

Propriétés de la nitroglycérine.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

A l'état de pureté, la nitroglycérine est un liquide huileux, incolore, inodore, d'une saveur d'abord sucrée, puis brûlante. Sa densité est de 1k,600. Elle se dilate beaucoup lorsqu'on la chauffe. La nitroglycérine préparée avec de la glycérine ordinaire du commerce présente une teinte ambrée et une odeur éthérée.

La nitroglycérine ne s'évapore que fort peu au-dessous de 50°; vers 100° elle est légèrement volatile et souvent elle commence à se décomposer.

Elle se congèle à +8°, si cette température est maintenue pendant longtemps, et elle augmente sensiblement de volume. Pour la ramener à l'état liquide, il faut en général la chauffer à 8 ou 10 degrés d'une façon persistante.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

La nitroglycérine est très-peu soluble dans l'eau, soluble en toutes proportions au-dessus de 36° dans l'alcool méthylique ou esprit de bois anhydre, dans l'éther, dans la benzine, très-peu soluble à froid dans l'alcool, mais s'y dissolvant de plus en plus à mesure que la température s'élève.

ACTION DE LA CHALEUR.

D'après M. Champion, à l'air libre, la nitroglycérine chauffée lentement jusqu'à 193 degrés se décomposerait sans s'enflammer ni détoner; mais ce fait est contesté, et l'expérience ne doit être faite que sur de très-faibles quantités et avec les plus grandes précautions. La nitroglycérine chauffée brusquement à 180 degrés fait explosion.

Mise en contact avec un corps incandescent ou enflammé, elle ne fait pas explosion, mais s'enflamme quelquefois et se décompose tranquillement.

Enfermée dans un vase peu résistant, elle présente à peu près sous l'action de la chaleur les mêmes phénomènes, l'enveloppe se brisant d'ordinaire dès que la décomposition se prononce.

Mais, lorsqu'elle remplit un vase suffisamment solide, elle détone lorsque la température atteint 180 degrés. Si on la met en contact ainsi confinée avec un corps incandescent ou enflammé, l'explosion peut se produire, mais elle est incertaine.

Lorsque la nitroglycérine a éprouvé par l'action de la chaleur ou par tout autre moyen un commencement de décomposition locale ou une tendance à la décomposition, elle devient susceptible de faire explosion par l'effet d'un chauffage ou d'un choc qui n'auraient pas suffi autrement à en provoquer la détonation.

STABILITÉ.

La nitroglycérine pure est un produit stable qui se conserve plusieurs années, et sans doute indéfiniment, sans altération, à la température ordinaire et même à des températures assez élevées.

L'acide sulfurique concentré, l'acide azotique concentré, la soude en solution concentrée, l'attaquent même à froid et provoquent une décomposition progressive.

La nitroglycérine qui a conservé des traces d'acide n'est pas stable.

En général, la décomposition est extrêmement lente et tranquille : il se dégage d'abord des vapeurs nitreuses, le liquide prend une couleur verdâtre; puis il se forme du protoxyde d'azote, de l'acide carbonique, des cristaux d'acide oxalique, et, quelques mois après, toute la masse se trouve transformée en une matière verdâtre, gélatineuse, composée d'acide oxalique, d'eau et d'ammoniaque.

Quelquefois, si la température est plus élevée, si, par exemple, la nitroglycérine est échauffée par le soleil, la décomposition est plus active; très-rarement elle amène l'explosion.

Si l'on soumet une couche mince de nitroglycérine à un choc violent entre deux corps très-durs, comme par exemple une enclume et un marteau de fer, l'explosion se produit au point frappé, mais sans se communiquer au reste de la couche. On n'obtient pas d'ordinaire la détonation lorsqu'on précipite un vase de nitroglycérine sur des rochers d'une hauteur de 20 à 25 mètres.

ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ.

D'après les faits actuellement connus, la nitroglycérine ne se décom-

poserait pas sous l'action de l'électricité. Ni les étincelles produites par la bouteille de Leyde, ni celles de la bobine d'induction, ni les courants d'électricité dynamique ne semblent en produire l'explosion.

EFFETS PHYSIOLOGIQUES.

La nitroglycérine est un poison.

Posée sur la langue, même en très-petite quantité, elle produit un afflux rapide au cerveau et un mal de tête violent qui persiste plusieurs heures. Des doses un peu plus fortes provoquent le vertige, une fatigue générale et de violentes nausées.

De très-fortes quantités peuvent amener la mort.

En contact avec la peau, elle n'amène pas ordinairement de désordres dans l'organisme. Il faut qu'elle soit absorbée par le sang pour que ses influences pernicieuses se manifestent.

Mais il en sera ainsi chaque fois que la peau présentera quelque lésion ou que par un autre motif quelconque elle permettra l'absorption du liquide vénéneux.

Les effets physiologiques de la nitroglycérine diminuent d'intensité avec le temps, à mesure que l'organisme s'y habitue.

Les ouvriers des fabriques de dynamite manipulent constamment l'huile explosive sans en ressentir d'inconvénient.

PRODUITS DE L'EXPLOSION.

L'explosion parfaite de la nitroglycérine est représentée, d'après M. Berthelot, par l'équation suivante :

$$C^6H^2 3 (AzO^6H) = 6CO^2 + 5HO + 3Az + O$$

l'azote et l'oxygène pouvant de plus former une certaine quantité de protoxyde ou de bioxyde d'azote.

En faisant détoner dans un eudiomètre une petite quantité de nitroglycérine sous l'influence de l'explosion d'un mélange tonnant d'oxygène et d'hydrogène, M. L'Hôte a trouvé des chiffres fort différents de ceux qui correspondent à cette formule, comme il a été dit ci-dessus.

Lorsque la nitroglycérine se décompose lentement ou lorsqu'elle brûle sans explosion, ou bien encore lorsqu'elle détone à l'air libre sous l'influence d'une détonation de force insuffisante, la combustion n'est pas parfaite : il se produit moins d'acide carbonique et d'eau ; l'oxyde de carbone, le bioxyde d'azote et l'acide hypoazotique prédominent.

L'action physiologique des gaz dégagés par l'explosion varie naturellement avec la nature de ces gaz et par suite avec le mode de décomposition. C'est ce qui explique les divergences d'opinions sur les effets qu

produit sur les ouvriers l'emploi de cette substance explosive : quelques auteurs avancent que les gaz dégagés sont délétères, que les ouvriers en ressentent de graves inconvénients et que la nitroglycérine ne doit être employée que dans des travaux très-bien aérés ; d'autres, au contraire, considèrent le même agent comme inoffensif, moins gênant pour les mineurs que la poudre ordinaire, et en recommandent l'usage dans les galeries peu ventilées. Les mêmes ouvriers qui se plaignent au début de maux de têtes et de nausées arrivent en général à préférer, sous le rapport des effets des coups de mine sur l'organisme, la nitroglycérine à la poudre, lorsque par une habitude suffisante ils sont arrivés à l'employer dans de bonnes conditions et à en produire à coup sûr l'explosion complète.

Mode d'emploi de la nitroglycérine.

M. A. Nobel a découvert le premier un moyen certain de provoquer l'explosion d'une masse de nitroglycérine, même à l'air libre. Ce moyen consiste à faire détoner, au contact ou dans le voisinage immédiat de la nitroglycérine, une capsule de fulminate de mercure.

Le métal de la capsule doit être assez épais et la charge de fulminate doit être au moins de $0^{gr},20$ à $0^{gr},25$.

L'efficacité de ce procédé repose sur ce fait, que la chaleur communiquée par le choc de cette détonation aux parties les plus voisines du liquide en produit l'explosion, et que la chaleur résultant de cette explosion initiale est assez forte et se transmet assez vite aux portions avoisinantes de la masse pour les décomposer à leur tour, ce qui produit en résumé l'explosion générale de la charge entière.

Quand la nitroglycérine est gelée, il faut une charge plus forte de fulminate pour produire l'explosion.

Le fulminate de mercure peut être remplacé par quelques autres substances fulminantes.

Une charge de quelques grammes de poudre vive enfermée dans une cartouche un peu résistante produit aussi l'explosion de la nitroglycérine.

Préparation de la nitroglycérine.

La nitroglycérine s'obtient par l'action de trois équivalents d'acide azotique sur un équivalent de glycérine. La réaction dégage six équivalents d'eau. Elle est représentée par l'équation suivante :

$$C^6H^8O^6 + 3(AzO^6H) = C^6H^2(AzO^6H) + 6HO.$$

On mêle à l'acide azotique de l'acide sulfurique concentré de façon à s'emparer de l'eau au fur et à mesure qu'elle se produit, afin de conserver à la glycérine et à l'acide azotique non encore combinés la concentration nécessaire à la réaction.

L'attaque de la glycérine par le mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique dégage beaucoup de chaleur, qu'il faut avoir soin d'enlever au fur et à mesure, afin d'éviter la décomposition de la nitroglycérine produite.

Le procédé de préparation de la nitroglycérine décrit par M. Kopp, dans les comptes rendus de 1866 de l'Académie des sciences, est la reproduction de cette méthode. Il a été appliqué pendant plusieurs années aux carrières de pierres de la Zorn (Bas-Rhin) et dans quelques autres exploitations de carrières. Ce procédé a été suivi à Paris pendant le siége et a fourni des résultats assez satisfaisants. Voici en quoi il consiste :

Dans un vase de grès entouré d'eau froide, on mélange une partie d'acide azotique fumant et deux parties d'acide sulfurique aussi concentré que possible. On évapore la glycérine du commerce, bien exempte de chaux et de plomb, jusqu'à 30 ou 31 degrés Baumé.

On met alors environ 3 kilogrammes du mélange acide dans un pot en grès refroidi par un courant d'eau, et on y ajoute lentement 500 grammes de glycérine. Cette addition doit être réglée de façon qu'un grand échauffement ne puisse jamais se produire. Il ne faut pas dépasser 30°.

Quand toute la glycérine est épuisée, on verse le mélange dans cinq à six fois son poids d'eau et on agite en tournant.

La nitroglycérine se dépose vite au fond du vase, et on la sépare par décantation. Elle subit un lavage à l'eau, et, bien qu'elle en sorte encore un peu acide, elle est prête à l'emploi immédiat sur place. Si elle doit être conservée, on la lave avec une lessive alcaline jusqu'à ce qu'elle ne conserve plus aucune trace d'acide.

M. Champion a essayé et proposé plusieurs moyens de préparer la nitroglycérine dans le laboratoire. Ce chimiste a cherché à déterminer les proportions de glycérine que l'on doit employer. Pour cela, il introduisit goutte à goutte la glycérine dans un poids connu du mélange d'une partie d'acide azotique fumant et de deux parties d'acide sulfurique à 66°. Cette addition se faisait assez lentement pour que la température ne dépassât pas 30 degrés. Lorsque le thermomètre n'indiqua plus d'échauffement, l'opération fut arrêtée. Après quelques instants de repos, la nitroglycérine surnageant fut décantée soigneusement, et une nouvelle quantité de glycérine fut ajoutée au mélange. Cette addition fut sans résultat. Connaissant le poids total de glycérine et celui qui resta après l'opération, il fut facile de connaître par différence la quantité de glycérine qui s'était transformée en produit nitré en présence du poids de mélange acide employé.

M. Champion a conclu de cette expérience les nombres suivants :

Glycérine à 31°	380	parties.
Acide azotique fumant à 50°	1000	—
Acide sulfurique à 66°	2000	—

Le rendement en nitroglycérine est de 760 parties, soit 200 pour 100 du poids de glycérine employée. Le rendement théorique serait de 246 pour 100.

M. Champion a été conduit par ses recherches à adopter le procédé suivant pour la préparation de la nitroglycérine :

« On verse dans un verre à expériences 100 grammes de mélange acide, puis on laisse couler lentement sur la paroi intérieure 16gr,6 de glycérine à 31°. La glycérine se répand à la surface du mélange acide, et on peut la laisser ainsi pendant plusieurs heures sans qu'il se produise aucune réaction. Celle-ci ne se manifeste qu'au moment où on agite brusquement le tout avec une baguette de verre. Cette agitation ne doit avoir qu'une durée de quelques secondes. On verse alors rapidement le contenu du verre dans un vase plein d'eau, et la nitroglycérine se précipite. Dans ces conditions, l'opération s'accomplit d'une manière si rapide, que la température n'a pas le temps de s'élever au point où commence la décomposition.

« Dans ce cas même, si l'agitation est suffisante et si toute la quantité de nitroglycérine a été transformée en produit nitré, l'action de la chaleur n'aurait pour résultat que de faire diminuer le rendement, en raison de l'attaque de la nitroglycérine par les acides libres.

« On peut encore verser brusquement la glycérine dans le mélange des acides, à la condition d'agiter immédiatement. »

Il a été encore proposé un certain nombre d'autres moyens pour préparer la nitroglycérine; mais le meilleur de tous, aux divers points de vue de la sécurité de la fabrication, de la pureté, de la stabilité et de la constance des produits, et aussi du rendement, reste encore, d'après tous les chimistes qui ont étudié cette question, le procédé de M. Nobel, qui est pratiqué depuis plusieurs années dans les fabriques de dynamite établies par l'inventeur dans presque tous les pays. Ce procédé n'a pas été livré à la publicité; on sait seulement qu'il permet d'obtenir en une seule opération, et presque sans danger, un millier de kilogrammes de nitroglycérine parfaitement neutre.

Historique.

INTRODUCTION DE LA NITROGLYCÉRINE DANS L'INDUSTRIE.

La nitroglycérine, découverte à Paris, en 1847, par A. Sobrero, resta sans application, malgré sa grande puissance, parce qu'on ne pouvait pas

la faire détoner à coup sûr au moment voulu. Ce n'est que lorsque M. Nobel eût trouvé un moyen certain et facile d'en provoquer l'explosion que l'industrie put tirer parti de ce nouvel agent. Il commença à en fabriquer en Suède de grandes quantités.

La nitroglycérine fut accueillie aussitôt avec empressement par les mineurs de tous les pays; mais plusieurs catastrophes successives, dues à des explosions pendant le transport de ce liquide difficile à contenir, vinrent bientôt paralyser le développement de son emploi.

ACCIDENTS CAUSÉS PAR LA NITROGLYCÉRINE.

Ces catastrophes, qui ont été déjà souvent racontées, sont utiles à connaître pour prendre une idée nette des dangers de la nitroglycérine.

Voici la narration intéressante qu'en présente M. Roux, d'après les comptes rendus locaux :

« Un premier accident avait eu lieu au mois de novembre 1865, dans la rue Greenwich, à New-York, emportant la devanture de l'hôtel Nyoming et blessant plusieurs personnes. Les autorités locales prirent quelques mesures de sûreté et l'émotion se calma; on ne connaissait pas encore l'huile explosive.

« L'année suivante, en avril 1866, un navire anglais, l'*European*, arrivait à Aspinwall avec 70 caisses de *glonoïn oil*. « Nous ne savons si cette substance est connue en Europe, dit le journaliste, mais aucun chimiste américain ne la connaît. Les ouvriers se tenaient sur le quai, prêts à opérer le déchargement des marchandises, quand une explosion formidable fit voler le navire en éclats. Une colonne de feu s'éleva à une très-grande hauteur, entraînant vingt à trente hommes, des enfants, des balles de marchandises, les débris du pont du navire; toutes ces masses d'hommes et de choses, lancées dans toutes les directions, retombant pêle-mêle au milieu des flammes, formaient, au dire des témoins, le plus terrible spectacle qu'on pût voir. Aussitôt après l'explosion, on vit la grande toiture en fer de l'entrepôt des marchandises du chemin de fer se soulever au-dessus de ses points d'appui et s'affaisser en écrasant dans sa chute hommes et marchandises. Le long débarcadère en bois près duquel était amarré le navire fut presque entièrement détruit. Ce désastre occasionna la mort d'une soixantaine de personnes et la destruction de propriétés pour une valeur de 750 000 à un million de dollars. »

« Peu de jours après, le 16 avril, deux caisses de la même substance font explosion dans une rue, à San-Francisco : une vingtaine de personnes sont tuées, les dégâts sont énormes. Les paroles manquent, dit le narrateur, pour exprimer la stupeur qu'a produite cette catastrophe, dont la principale rue de la ville a été le théâtre.

« A la suite de ces accidents, le Sénat et la Chambre des représentants

votèrent un bill prohibant le transport de la nitroglycérine sur les bateaux à vapeur, voitures, vaisseaux ou wagons recevant des voyageurs, dans la juridiction des États-Unis, sous peine d'une amende de 5000 dollars. En cas de mort par suite d'explosion de nitroglycérine, toute personne convaincue d'avoir pris part au transport de cette substance était présumée coupable de meurtre, et condamnée à un emprisonnement dont la durée devait être au moins de dix ans.

« Des prescriptions aussi rigoureuses ne refroidirent que momentanément le zèle des promoteurs de l'huile explosive. Le 22 juin 1870, une nouvelle explosion eut lieu à Worcester, en gare du chemin de fer : une seule personne fut tuée; une trentaine furent blessées.

« En Europe, la plupart des gouvernements durent prendre des mesures semblables à la suite d'accidents qui, pour n'avoir pas eu la gravité de ceux du nouveau monde, n'en produisirent pas moins une certaine émotion.

« En Belgique, le transport et l'emploi de la nitroglycérine sont interdits, en 1868, après une explosion à Quenast.

« En juin et juillet 1868, deux explosions ont lieu en Suède, dans les ateliers de M. Nobel : le transport de cette substance est prohibé sous peine d'amende.

« Le gouvernement anglais interdit l'usage de la nitroglycérine à la suite de l'accident de Carnavon. »

INVENTION DE LA DYNAMITE.

La nitroglycérine était donc proscrite dans presque tous les pays. D'ailleurs, la principale fabrique établie à Hambourg, par M. Nobel, avait déclaré publiquement, dès avant ces prohibitions, qu'elle ne livrerait plus au commerce de nitroglycérine pure. C'en était donc fait de cette précieuse conquête de la science, si, par un travail opiniâtre, M. Nobel n'avait su trouver enfin le moyen de retirer à la nitroglycérine ses propriétés dangereuses, tout en lui conservant sa puissance considérable.

Dès 1863, M. Nobel trouvait la solution de cet important problème; mais il fallut quelques années pour que les mineurs adoptassent sa poudre de sûreté sous le nom de *dynamite*. La nitroglycérine, enfin domptée, était désormais au service de l'industrie.

L'idée première est simple et ingénieuse : retirer à la nitroglycérine sa liquidité, qui est la principale cause du danger qu'elle présente; la transformer en une matière pâteuse pouvant s'envelopper dans du papier, s'emballer en caisses, se transporter sans fuir, être heurtée sans qu'aussitôt le choc se communique à travers toute la masse, comme cela a lieu dans les liquides. Il a suffi pour cela de faire absorber l'huile explo-

sive dans du charbon, de la silice, de la craie ou toute autre matière pulvérulente ou poreuse capable d'en retenir une forte proportion.

Un flacon de nitroglycérine qui tombe à terre peut, dans certains cas, amener une explosion formidable. La dynamite, au contraire, peut être écrasée, frappée, projetée de grandes hauteurs sans faire explosion.

ABANDON DE LA NITROGLYCÉRINE.

Depuis que les qualités de la dynamite sont connues et appréciées, l'emploi de la nitroglycérine est à peu près réduit à quelques exploitations où on la prépare sur place pour un emploi immédiat. Encore le danger subsiste-t-il dans ce cas, après même que la substance a été remise entre les mains du mineur qui doit l'employer. Les trous de mine, en effet, ne sont pas généralement étanches, et le liquide explosif peut s'infiltrer par des crevasses à travers la roche et parvenir ainsi à une assez grande distance. Ces parties de nitroglycérine échappent à l'explosion; et, lorsque l'ouvrier fore un autre trou de mine, après avoir fait partir le premier, son outil peut fort bien rencontrer ces crevasses imbibées d'huile explosive et en provoquer la détonation. On est donc arrivé à ne plus employer que dans des cas exceptionnels la nitroglycérine pure.

Pour les motifs qui viennent d'être indiqués, nous ne pousserons pas plus loin l'étude de la nitroglycérine, dont nous n'avons exposé les propriétés et la préparation que parce qu'elle forme le principal élément de la dynamite, dont nous allons maintenant nous occuper.

Composition de la dynamite.

La dynamite est de la nitroglycérine absorbée dans une substance poreuse.

M. Nobel emploie de préférence, comme matière absorbante, une variété de silice poreuse qui s'extrait à Oberlohe, près d'Unterlass (Hanovre), et qui est connue sous le nom de *kieselguhr*. Cette silice est blanche et se réduit facilement sous la pression des doigts en une poudre farineuse. Elle est constituée, comme le tripoli, par l'enveloppe d'une variété d'algues, les diatomées, et composée par suite d'une quantité innombrable de petites cellules très-solides. Cette silice a un pouvoir absorbant énorme; ses cellules offrent une très-grande résistance aux chocs et à la pression et retiennent très-bien l'huile explosive.

L'absorption de la nitroglycérine dans les grains de silice place le liquide dans les interstices d'une matière poreuse, susceptible de mobilité et ne transmettant pas les chocs même les plus violents. Les petits canaux de cette silice forment de petits réservoirs d'huile explo-

sive, dans lesquels le liquide est maintenu par l'action de la capillarité. Des chocs violents appliqués à une masse de dynamite produisent une compression des molécules, leur déplacement, peut-être même l'écrasement partiel de quelques vaisseaux infiniments petits; mais les particules de la masse de nitroglycérine elle-même ne reçoivent pas le choc nécessaire à leur explosion. Telle est l'explication donnée par M. J. Trauzl du rôle important de la silice.

Sur le même sujet, M. F.-A. Abel s'exprimait ainsi devant la Société des Ingénieurs civils de Londres, le 14 mai 1872 :

« M. Nobel, dans le cours de ses efforts persévérants pour combattre ou tout au moins réduire les dangers que présente l'emploi de la nitroglycérine, fit l'observation très-importante que l'aptitude à faire explosion sous l'influence d'une détonation n'est pas diminuée, mais au contraire favorisée en quelque mesure par le mélange du liquide avec des substances solides, absolument inertes par elles-mêmes. Cette découverte amena aussitôt la production par Nobel de préparations solides ou tout au moins pâteuses, à base de nitroglycérine, qui, sous le nom de dynamite, furent pour la première fois présentées au public en 1867, et dont la plus parfaite constitue, telle qu'elle se fabrique actuellement, un des agents explosifs les plus sûrs, les plus puissants et les plus convenables pour l'emploi industriel.

« L'absorption de la nitroglycérine par des solides poreux, dans un grand état de division, rend cette substance susceptible d'être manipulée, comme tout autre explosif solide, avec l'avantage additionnel de la plasticité; et, si une telle substance est préparée d'après le système maintenant appliqué par Nobel, elle paraît échapper complétement, ou bien peu s'en faut, à toutes les objections faites à la nitroglycérine en raison de son état liquide. Il est vrai qu'en mélangeant la nitroglycérine avec des corps non explosifs ou même avec des matières explosives, mais moins puissantes qu'elle-même, on diminue la force disponible dans un poids donné du produit; mais la force de la nitroglycérine pure est tellement supérieure à celle de la poudre, qu'elle peut supporter une très-grande dilution sans être sensiblement atteinte dans la haute position qu'elle occupe parmi les explosifs puissants.

« La forme sous laquelle la dynamite fut d'abord offerte à la consommation était celle d'une matière pulvérulente, douce, facile à mouler, d'une couleur rose ou chamois, qui était formée d'environ 75 parties de nitroglycérine retenue absorbée par 25 parties d'une terre siliceuse poreuse, provenant d'infusoires, connue en Allemagne sous le nom de kieselguhr. L'apparence humide de cette poudre donnait la pensée que la nitroglycérine pourrait en exsuder ou se rassembler à la base des paquets pendant le transport ou par un magasinage prolongé. La dynamite ainsi fournie était mise en cartouches par les mineurs, opération qui n'était

pas sans inconvénient par suite de l'absorption de la nitroglycérine par les mains et de ses effets désagréables sur l'économie.

« Mais, depuis quelque temps, la dynamite a été livrée au commerce sous la forme de petites cartouches cylindriques, dans lesquelles la substance à l'état compacte est enfermée dans une simple enveloppe de papier parchemin. Ces cartouches sont consolidées par la pression, de sorte que tout excès de nitroglycérine que la silice poreuse ne pourrait retenir absorbé est expulsé ; ce qui semble éviter l'inconvénient de l'exsudation de l'huile explosive pendant la manipulation ou le transport, ou par l'exposition de la dynamite à une température élevée. La consistance des charges de dynamite ressemble à celle de la potée d'étain sèche, et les doigts sont à peine mouillés de nitroglycérine lorsqu'on manie les charges retirées de leur enveloppe.

« La kieselguhr, choisie comme véhicule de la nitroglycérine, paraît la substance la mieux appropriée pour tenir absorbée une grande quantité du liquide et pour le garder, même quand la mixture est soumise à une pression considérable. Quand on a établi des fabriques de dynamite dans les faubourgs de Paris pendant le siége, comme on ne pouvait se procurer cette variété particulière de terre siliceuse, on se livra à une série d'essais pour lui découvrir un succédané convenable : on trouva que les absorbants les plus avantageux après la kieselguhr étaient la silice précipitée, le kaolin, le tripoli, l'alumine précipitée et le sucre. On employa aussi pour la production de la dynamite, pendant le siége de Paris, la cendre alumineuse de Boghead; mais aucune de ces substances ne parut valoir la silice d'Oberlohe au point de vue de la capacité à retenir une forte proportion d'huile explosive.

« En fait, on n'a présenté jusqu'ici aucune préparation de nitroglycérine contenant avec une égale sûreté une aussi forte proportion de nitroglycérine que celle qui est connue sous le nom de dynamite n° 1 de Nobel. »

Telles sont les opinions de deux hommes éminemment compétents sur la façon dont les propriétés de la nitroglycérine sont modifiées par son absorption dans un corps poreux, sur l'importance que présente le choix de la matière absorbante et sur les qualités remarquables qui ont fait préférer la kieselguhr aux autres absorbants.

Nous rapprocherons de ces opinions autorisées la doctrine bien différente qui se trouve exposée dans un ouvrage semi-officiel sur la dynamite :

« M. Nobel fait usage dans la préparation de la dynamite d'une matière pulvérulente et poreuse, nommée en allemand kieselguhr, ou farine siliceuse ; elle provient d'une variété de coquillages extraits à Oberlohe, dans le Hanovre. Ce n'est, du reste, qu'un moyen de déjouer la contrefaçon, car on peut employer tout aussi avantageusement d'autres sub-

stances siliceuses. Pendant le siége de Paris on a fait, avec assez de succès, de la dynamite avec le coke de Boghead, produit dans la fabrication du gaz portatif. Cette matière est un silicate d'alumine presque pur, mais elle est relativement assez chère; on peut employer avec plus d'économie de la brique pilée, des laitiers de forge et certaines terres calcinées, riches en silice et en alumine.

« ... Mais il ne serait pas exact de dire que la force de la dynamite est proportionnelle à la quantité de nitroglycérine. La nature de la matière inerte exerce une influence capitale. Nous avons vu des dynamites ne contenant que 30 pour 100 d'huile explosive, avoir autant de force que d'autres qui en contenaient 75 pour 100, et plus de force que des mélanges à 50 pour 100. Tout paraît dépendre de la manière dont l'absorption s'est produite. »

Préparation de la dynamite.

L'absorption de la nitroglycérine dans la silice s'effectue aisément. Il suffit de verser sur la silice bien sèche la dose voulue d'huile explosible et de brasser le mélange à la main ou avec une palette en bois. On s'attache à rendre le mélange aussi homogène que possible, et à saturer la silice sans dépasser sa capacité absorbante.

Propriétés de la dynamite.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

La densité de la dynamite formée de 75 pour 100 de nitroglycérine et de 25 pour 100 de kieselguhr varie de 1k,58 à 1k,64. C'est une masse à grains fins, pâteuse et grasse, de couleur ordinairement gris-brun, mais qui varie avec la couleur de la silice.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

La dynamite se comporte vis-à-vis des liquides et des dissolvants de la même manière que la nitroglycérine; mais elle ne peut rester longtemps dans l'eau, sans que la nitroglycérine s'en sépare et soit remplacée par de l'eau.

ACTION DE LA CHALEUR.

L'action de la chaleur sur la dynamite est la même que sur la nitroglycérine. Celle-ci brûle tranquillement sur un feu découvert. Il n'y a

aucun danger à mettre le feu à une cartouche de dynamite que l'on tient dans la main. Cette expérience frappante a été cent fois reproduite.

Un petit baril en bois cerclé de fer ou une caisse en bois avec couvercle de bois vissé, contenant quelques kilogrammes de dynamite, peut être placé sur le feu sans qu'il se produise d'explosion; l'enveloppe s'ouvrira sous la pression des gaz, et le contenu brûlera avec une flamme claire.

Voici une expérience faite à Vincennes pendant le siége de Paris :

Auprès d'une mare d'eau on a fait une traînée de 100 grammes environ de dynamite à 65 pour 100; une des extrémités de la traînée plongeait dans l'eau de la mare.

Avec un cigare tenu à la main, on a mis le feu à celle des extrémités de la traînée qui était à sec, et on a constaté que la dynamite brûlait d'une façon relativement lente, sans flamme et sans explosion, et de plus que la partie de la poudre qui était dans l'eau brûlait complétement et exactement de la même façon que celle qui était hors de l'eau.

On fit ensuite au même endroit une seconde traînée de dynamite plongeant aussi en partie dans l'eau de la mare. Le feu fut mis avec une allumette. La dynamite brûla sans détoner; la flamme, qui s'élevait à $0^m,50$ de hauteur, n'incommoda en rien les assistants qui restèrent près du foyer. La partie de la dynamite recouverte par l'eau se consuma comme celle placée à terre.

On peut introduire dans une masse de dynamite une mèche de mine sans capsule et allumer la mèche sans produire d'explosion. La dynamite pourra ne pas s'enflammer. Si l'inflammation a lieu, la combustion s'effectuera tranquillement.

M. Roux a placé au milieu d'une masse de dynamite enfermée dans une cartouche une charge de poudre fine; le feu étant mis à la charge, la dynamite est projetée de toutes parts par l'explosion de la poudre, mais elle n'est pas enflammée.

Peut-être l'expérience aurait-elle donné un tout autre résultat si la déflagration de la poudre avait été provoquée par une capsule fulminante.

Ainsi le feu dans les conditions ordinaires n'amène pas l'explosion de la dynamite. Il peut en être tout autrement lorsque la dynamite est emmagasinée en grande quantité. Dans ce cas, l'intérieur de la masse peut s'échauffer à la température d'explosion de 180^d avant que les parties extérieures soient entièrement consumées, ce qui constitue un confinement relatif et permet l'établissement d'une pression élevée.

Les comités institués par le gouvernement anglais pour l'étude des matières explosives ont élucidé cette question dans des expériences récentes faites sur une grande échelle. 304 kilogrammes de dynamite à 75 pour 100, contenus dans 12 solides caisses en bois, furent placés sur des tables dans une construction en bois légère ($2^m,55$ de côté, sur

1^m,95 de haut). Un tas de matières inflammables fut placé entre les tables. Il fut assez difficile de déterminer avec précision combien de temps après la mise en feu la dynamite commença à brûler, parce que le changement d'aspect de la flamme, vue à distance, était moins caractéristique ou moins soudain que dans des expériences semblables faites précédemment sur des magasins de poudre-coton.

Cependant l'activité rapidement croissante de la flamme, environ cinq minutes après l'allumage, montra que la nitroglycérine brûlait; et, après un laps de temps de dix minutes, une violente explosion se produisit, des fragments de la construction de bois furent lancés à de grandes distances et un vaste cratère fut creusé dans le sol.

Les expériences des comités anglais ont permis de conclure qu'à quantité égale d'explosif renfermé dans des caisses, une différence dans la résistance de l'emballage produit une importante différence dans les effets de l'incendie. Plus les caisses sont légères, plus facilement elles s'ouvrent sous l'action de la pression intérieure : de sorte que, lorsqu'une partie du contenu d'une boîte est amenée à la température d'inflammation, la pression développée par la combustion ne rencontre pas une résistance suffisante en grandeur et en durée pour amener l'explosion. Il va sans dire que cette sécurité relative que donne la légèreté des emballages dépend de la quantité d'explosif. Ainsi, sur deux magasins semblables renfermant l'un et l'autre 304 kilogrammes de coton-poudre, l'un en caisses légères, l'autre en caisses solides, le premier a pu brûler en entier sans explosion pendant 48 minutes, tandis que l'autre a sauté 8 minutes après la mise en feu. Et cependant il ne faudrait pas admettre que l'emballage léger assurât la même immunité à une masse plus considérable de coton-poudre, car la quantité peut devenir assez grande pour que les parties extérieures d'un fort tas de disques de coton-poudre ou de cartouches de dynamite produisent à elles seules un confinement susceptible d'amener l'explosion.

La dynamite, chauffée à 180° dans un vase fermé et résistant, fait explosion.

Voici sur ce sujet de l'action de la chaleur les expériences de MM. Bolley, Kundt et Pestalozzi :

« On pouvait craindre que la chaleur n'amenât l'exsudation de la nitroglycérine hors du corps absorbant. Nous plaçâmes 4 grammes de dynamite dans un entonnoir en verre et nous les exposâmes pendant une heure à l'action de la vapeur d'eau, sans constater aucune modification. Par contre, nous pûmes établir les conditions dans lesquelles la dynamite, exposée à une élévation de température considérable, peut faire explosion. On plaça une cartouche de dynamite dans un étui de fer-blanc ouvert à une extrémité. Jetée dans le feu, cette dynamite brûla sans amener explosion. Après avoir mis de la dynamite dans le même

tube, on le ferma avec un bouchon métallique à vis et on le plaça de nouveau dans un feu ardent. Après quelques minutes on eut une forte explosion et les charbons furent dispersés de tous les côtés. En remplaçant la vis métallique par un bouchon ordinaire et dans les mêmes circonstances, on provoqua une explosion moins considérable que la précédente.

« De ces expériences on peut conclure que la dynamite à nu ou sous une enveloppe présentant une faible résistance ne peut faire explosion sous l'action du feu le plus intense, et qu'au contraire, dans les mêmes circonstances, elle peut produire une explosion considérable, lorsqu'elle est renfermée dans une enveloppe de quelque résistance. »

Il convient de remarquer aussi la différence dans l'intensité de l'explosion, c'est-à-dire dans le mode de décomposition qui correspond à une différence dans la résistance de l'enveloppe.

ACTION DU FROID.

La dynamite exposée pendant quelque temps à une température inférieure à 8 degrés au-dessus de zéro perd sa plasticité et se congèle. La dynamite gelée est moins facile à enflammer et à faire détoner que la dynamite molle. Elle fait cependant explosion, soit sous l'action d'une capsule de fulminate contenant une charge d'environ 1 gramme, soit par la détonation d'une cartouche de dynamite molle.

La dynamite gelée est ramenée à l'état mou en la chauffant pendant longtemps à une température modérée. Elle reprend ainsi ses propriétés primitives.

ACTION DE LA LUMIÈRE.

L'action de la lumière sur la dynamite est nulle. Les rayons solaires n'ont d'autre effet sur cet explosif que ceux que produit la chaleur dont ils sont accompagnés.

ACTION DES CHOCS.

Les chocs et les coups comme il peut s'en produire dans les transports par la chute des colis, par le tamponnement des wagons, etc., paraissent ne faire aucun effet sur la dynamite. Dans un grand nombre d'expériences, on a précipité de 10 et même 25 mètres sur des rochers, des vases de tôle, de verre et de bois remplis de dynamite, sans produire d'explosion; on a écrasé des cartouches de dynamite sous le choc de pierres pesant environ 100 kilogrammes, tombant de 30 mètres de hauteur, sans obtenir autre chose que l'éparpillement de la substance.

L'explosion de la dynamite a lieu sous l'action d'un choc d'une intensité

suffisante pour que la masse environnant le siége de la percussion ne soit pas projetée, et que la puissance vive du choc se transforme immédiatement en la quantité de chaleur nécessaire pour provoquer l'explosion.

MM. Bolley, Kundt et Pestalozzi ont fait sur l'action des chocs sur la dynamite quelques essais intéressants, dont voici le compte rendu :

« On fit des étuis en cuivre longs de 50 millimètres et d'un diamètre de 11 millimètres; on y comprima de 3 à 3 1/2 grammes de dynamite; on les ferma au moyen d'une vis de cuivre. Pour soumettre ces cartouches à un choc énergique, on imagina de les lancer au moyen d'un fusil à vent contre une roche verticale dans la carrière de Danikon. Le fusil à vent était solidement fixé à un bloc; on lâchait la détente au moyen d'une ficelle. Le projectile avait à parcourir $13^{m},2$. La vitesse dont il était animé au milieu de sa course atteignait 40 mètres. On l'a constaté à Zurich avec un chronoscope de Happs.

« On fit successivement cinq expériences :

« 1) Une cartouche à enveloppe épaisse fut lancée contre le roc : pas d'explosion; la cartouche était déformée par le choc.

« 2) Une autre cartouche à enveloppe épaisse, remplie de dynamite, contenant en plus une capsule de Nobel, fit explosion en atteignant le rocher.

« 3) On tira une cartouche à enveloppe mince : elle fit explosion en touchant le rocher.

« 4) Même expérience de nouveau, même résultat.

« 5) Une cartouche à enveloppe épaisse manqua deux fois le rocher et alla frapper chaque fois dans un tas de décombres qui se trouvait à côté; au troisième coup, la roche fut atteinte : il n'y eut pas d'explosion.

« L'expérience n° 2 devait nécessairement amener une explosion : nous n'avons donc pas à en tirer de conclusions. Des autres il résulte que la dynamite, fortement comprimée dans une enveloppe résistante, peut faire explosion sous un choc suffisamment énergique. Les cartouches à enveloppes minces, moins lourdes, étant par suite animées d'une plus grande vitesse que les autres, produisaient un choc plus énergique en rencontrant le rocher : ce qui explique leur explosion. »

Il convient peut-être d'ajouter que dans la cartouche mince la dynamite subissait une plus forte partie du choc que dans la cartouche épaisse.

Les mêmes expérimentateurs ont fait détoner 8 grammes de dynamite placés sur une plaque de fonte en faisant tomber dessus d'une hauteur de 1 mètre un bloc de fer pesant 550 kilogrammes. Ils employèrent aussi un mouton de fonte tombant de diverses hauteurs et firent varier la nature des corps sur lesquels était placée la dynamite. Ils essayèrent ainsi successivement la fonte, le grès, le bois. Voici les conclusions de cette série d'expériences :



« Un choc peut amener l'explosion de la dynamite à l'état libre, quand il a lieu entre deux corps très-durs, comme le fer, pourvu qu'il ne soit pas trop faible. Le choc du fer sur la pierre ne peut produire ce même résultat que dans de très-rares circonstances, et il est presque impossible de l'obtenir lorsqu'on remplace la pierre par le bois.

« En plaçant une petite quantité de dynamite de la grosseur d'un pois sur une enclume et en frappant dessus avec un marteau, on produit une explosion; en remplaçant l'enclume par une pierre ou un bloc en bois, il n'est plus possible d'obtenir ce résultat, même en augmentant notablement la quantité de dynamite et en remplaçant le coup de marteau par une pression énergique. »

Dans des expériences faites en Suède, en 1868, par une commission spéciale française, et rapportées par M. le capitaine Fritsch, on a attaché des cartouches de dynamite sur les rails d'un chemin de fer sur lesquels on a fait passer les roues d'un wagon à marchandises. Les cartouches ont été aplaties, la poudre a laissé des traces d'huile sur les rails, mais il n'y a pas eu d'explosion. D'après M. Fritsch, on ne doit pas conclure de là qu'il ne s'en produira jamais dans des circonstances identiques. Dans une expérience où la vitesse du wagon était de 43 kilomètres à l'heure, on a entendu une suite continue de petites explosions.

Une balle de fusil ou de carabine, tirée sur un sac de dynamite, peut en produire l'explosion.

A Vincennes, le 7 décembre 1870, une balle de chassepot tirée à 25 mètres sur un sac de toile contenant 500 grammes de dynamite à 65 pour 100 de nitroglycérine, appliqué contre un épaulement en terre, a suffi pour en amener l'explosion. Le même effet a été obtenu sur un sac contenant 2 kilogrammes. Deux sacs en toile contenant, l'un 2 kilogrammes de dynamite, l'autre 2 kilogrammes de poudre de mine, appliqués contre un mur, ont fait explosion l'un et l'autre sous le choc d'une balle de chassepot lancée à 65 mètres.

A Vincennes aussi, M. le commandant du génie Lefèvre a constaté que la balle du chassepot, à petite distance, ne produit pas l'explosion de la dynamite, même à 65 pour 100, lorsque celle-ci est contenue dans un bidon en zinc protégé par une mince planchette de bois. Le même essai fut fait à Fontenay sur un bidon en zinc, contenant 2 kilogrammes de dynamite, appliqué contre un mur et protégé par une planchette de 18 millimètres d'épaisseur. La dynamite n'éclata pas sous l'action d'une balle de chassepot tirée à 65 mètres, et qui traversa la planche et le bidon.

Dans les expériences faites par le Comité technique autrichien, dans la plaine de Simmering, le 27 avril 1870, 560 grammes de dynamite contenus dans une boîte en fer-blanc firent explosion sous le choc d'une balle de fusil Werndl, tirée à soixante pas.

M. Fritsch rapporte encore une série d'expériences faites en Autriche,

en juillet 1871, pour étudier la façon dont se comporte la dynamite frappée par des projectiles, et rechercher quelle est l'influence exercée dans ce cas par la nature du vase qui la renferme. En tirant à soixante pas avec un fusil Werndl, on a constaté que le projectile qui frappe la dynamite produit immédiatement son explosion; et cela, qu'elle soit renfermée dans du papier, de la toile, du molleton, du fer-blanc recouvert ou non recouvert de drap, du bois blanc ou dur de 13 millimètres d'épaisseur. Dans toutes ces expériences, l'enveloppe avait la forme d'un cube de $0^m,073$ de côté et contenait 560 grammes de dynamite.

Dans les voitures du génie autrichien, la dynamite est transportée dans des tubes de fer-blanc, lesquels sont rangés dans un des compartiments de la voiture. On plaça un de ces tubes contenant 560 grammes dans une caisse en bois de même forme et de même épaisseur que le compartiment en question, et l'on reconnut que le premier projectile qui frappa à hauteur convenable produisit instantanément l'explosion de la dynamite.

Nous terminerons ce qui se rapporte à l'action des projectiles sur la dynamite par la citation d'une curieuse série d'expériences faites par M. Abel sur le coton-poudre comprimé. Les conclusions de ces essais semblent pouvoir s'appliquer à la dynamite.

« Le mode suivant lequel la résistance au mouvement favorise la décomposition chimique ou l'explosion des parties d'une masse compacte de coton-poudre soumise à un choc, comme celui d'une balle, a été démontré d'une façon concluante par une série d'expériences faites avec des disques de coton-poudre comprimé de même densité et de même diamètre, mais différant en épaisseur et par suite en poids. Ces disques étaient librement suspendus à l'aide d'un cordon entourant leur circonférence. On tirait sur ces disques avec un fusil Martini-Henry, à la distance de 91 mètres, avec des balles en plomb durci.

« Des disques du poids de 112 et de 224 grammes furent traversés par la balle à plusieurs reprises, sans qu'aucune partie de la matière fût même enflammée. Des disques pesant 336 grammes furent enflammés par le choc de la balle, mais ne détonèrent pas, tandis que des disques de 448 grammes, dans les mêmes conditions, firent explosion, des parties de coton-poudre étant dans quelques cas dispersées en flammes.

« La résistance opposée à la course de la balle, même par le disque de 224 grammes, n'était pas assez grande pour amener dans le mouvement du projectile, pendant sa pénétration à travers la masse, une diminution de vitesse pouvant développer une chaleur suffisante pour l'inflammation du disque. Avec le disque de 336 grammes, la résistance au mouvement de la balle était capable de développer la chaleur nécessaire à l'ignition, tandis que le disque de 448 grammes résistait à la pénétration du projectile avec une force suffisante pour qu'une partie de la puissance vive du choc se concentrât au moment du choc dans les par-

ties atteintes, ce qui les transformait aussitôt en gaz ou les faisait détoner. »

La dynamite gelée est moins sensible au choc que la dynamite molle.

Il est vrai que sa compacité, en facilitant la transmission à la partie directement frappée de la chaleur ou de la puissance vive du choc, favorise en quelque mesure l'explosion; mais, comme l'échauffement nécessaire ne peut avoir lieu qu'après la communication d'une quantité de chaleur suffisante pour liquéfier la nitroglycérine, il faut en définitive plus de chaleur ou un choc plus intense pour provoquer l'explosion.

Un certain nombre d'expériences ont été faites en Suède, en Russie, en Autriche et en France, sur l'emploi de la dynamite pour le chargement des projectiles creux. Les résultats de ces essais ne sont pas encore concluants. Il est arrivé quelquefois que les obus éclataient dans l'âme du canon et d'autres fois qu'ils pouvaient être lancés sans éclater. Assez souvent les projectiles éclataient contre le but, et particulièrement contre les blindages, par le simple choc et sans qu'on eût employé aucune amorce fulminante.

ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ.

Pour rechercher l'action de l'électricité sur la dynamite, MM. Bolley, Kundt et Pestalozzi en ont rempli un tube de verre de 60 centimètres de long sur 18 millimètres de diamètre. Ils ont fermé ce tube aux deux bouts avec des bouchons à travers lesquels passaient des conducteurs électriques. Sous la décharge d'une forte bouteille de Leyde, aucune explosion ne se produisit. En répétant cette expérience, on eut le même résultat négatif. On remplaça alors la bouteille de Leyde par un appareil d'induction, et quelques instants après un des bouchons fut lancé hors du tube avec une faible détonation : un peu de la dynamite était brûlé; le tube ne fut pas cassé. Une seconde expérience produisit les mêmes résultats.

On peut en conclure que de puissantes étincelles électriques ne peuvent causer l'explosion de la dynamite, tandis qu'un courant continu produisant de la chaleur amène la combustion partielle de ce corps.

Les habiles expérimentateurs mirent ce fait en évidence de la manière suivante : ils relièrent les deux conducteurs par un fil très-mince et firent passer un courant. Le fil de fer mince se volatilisa en brûlant une partie de la dynamite et en produisant une petite explosion analogue à la précédente. Cette expérience, si on en faisait varier les conditions, pourrait bien ne pas toujours fournir un résultat aussi inoffensif.

Il semble donc supposable que la foudre n'amènerait pas l'explosion de la dynamite. Si cependant elle était renfermée dans des vases suffisamment résistants, les effets calorifiques de la foudre pourraient provoquer la détonation de la masse.

STABILITÉ.

La dynamite est au moins aussi stable que la nitroglycérine : aussi la dynamite pure peut être considérée comme parfaitement stable. La dynamite mal fabriquée, et qui renferme des traces d'acides, se décompose à la longue lentement et sans explosion. Des faits nombreux et considérables prouvent que la dynamite se conserve des années sans altération. Sur une production qui s'élève déjà à plusieurs millions de kilogrammes, qui a été expédiée par tous les modes de transports, aux plus grandes distances et dans les climats les plus extrêmes, on n'a jamais constaté d'accident ni pendant le transport ni pendant le magasinage le plus prolongé. On a pu exposer pour essai de la dynamite pendant tout un été à l'action directe des rayons du soleil et à celle de l'air ; on a soumis des échantillons de cette poudre pendant 40 jours à une température de 60 à 70 degrés : on n'a observé aucune décomposition.

On a conclu de ces faits :

1° Que la décomposition spontanée de la nitroglycérine contenue dans la dynamite, si elle se produit, a lieu dans des conditions telles, qu'il est facile de prendre toutes les précautions nécessaires pour écarter toutes chances d'explosion de ce fait ;

2° Que les cas de décomposition spontanée de la dynamite bien fabriquée sont si rares, qu'ils ne sauraient être pris en considération au point de vue de la perte industrielle de la matière.

EFFETS PHYSIOLOGIQUES.

Tout ce qui a été dit des propriétés physiologiques de la nitroglycérine s'applique naturellement à la dynamite. Mais l'état de poudre pâteuse sous lequel se présente la dynamite et la forme de cartouches sous laquelle elle est livrée à la consommation font disparaître à peu près complétement dans la pratique les inconvénients de la manipulation de la nitroglycérine.

Les effets sur l'organisme des gaz dégagés par l'explosion de la dynamite sont sensibles au début de l'emploi et disparaissent complétement par la suite, tant à cause de l'habitude que contractent les mineurs que parce qu'ils apprennent à déterminer plus sûrement l'explosion complète, condition nécessaire de la formation de gaz inoffensifs.

Emballage, transport et emmagasinage de la dynamite.

La dynamite est livrée en cartouches dont le diamètre est de 22 millimètres et dont la longueur est de $0^m,08$ à 0,09. Ces dimensions, qui peu-

vent être facilement changées, n'ont d'importance que lorsqu'on emploie la dynamite au chargement des trous de mines.

Le papier-parchemin de ces cartouches est à peu près imperméable à la nitroglycérine et résiste longtemps à l'eau, de sorte qu'on peut les employer sans soins spéciaux dans les terrains humides et aquifères, et même sous l'eau. Dans ce dernier cas cependant, il est préférable d'employer des cartouches étanches, qui empêchent, pendant un temps très-long, le délavage de la nitroglycérine par l'eau.

Les cartouches sont rangées dans des boîtes légères en bois de sapin, garnies à l'intérieur d'une couche de coaltar et d'une chemise de carton, de zinc mince ou de caoutchouc. Les intervalles sont remplis de sciure de bois. Le couvercle est vissé. Deux cordes forment poignées aux extrémités. Chaque caisse peut contenir de 15 à 20 kilogrammes de dynamite. Les chargements, les déchargements de ces caisses s'effectuent avec la plus grande facilité. Il en est de même du transport à main d'hommes.

Si l'on craint la gelée, on peut envelopper chaque caisse d'une seconde boîte contenant de la sciure de bois qui s'opposera au refroidissement.

Il n'y a pas lieu, pendant les transports et transbordements, de se préoccuper des chocs que pourront éprouver ces caisses ; il faut seulement veiller à ce qu'elles soient à l'abri de la pluie et de l'incendie. Il ne faut jamais transporter dans le voisinage immédiat des caisses de dynamite ni capsules fulminantes ni matières explosives ou facilement inflammables. Enfin, on devra éviter de laisser séjourner trop longtemps les chargements au soleil, ou bien il conviendra de les protéger contre la chaleur par des paillassons ou des couvertures.

« Les divers gouvernements, dit M. Fritsch, ont reconnu d'ail-
« leurs que la dynamite n'est réellement pas dangereuse et qu'il n'est
« pas nécessaire de soumettre son transport à des précautions bien dif-
« férentes de celles réglementaires pour les poudres. »

M. Caillaux conclut de l'étude des faits recueillis que, « pour tout esprit non prévenu, le transport de la dynamite ne peut exposer à plus de danger que celui de la poudre ordinaire, du pétrole, des capsules, etc. ; » et on peut dire que la dynamite est aujourd'hui la seule substance explosive connue pour laquelle on n'ait pas eu d'accident à signaler, soit pendant le transport. soit pendant la conservation.

Il existe néanmoins encore dans quelques pays soit l'interdiction de transporter la dynamite par chemins de fer, soit des prescriptions fort rigoureuses pour ce transport. Cette prudence exagérée provient sans doute de la terreur qu'a inspirée autrefois la nitroglycérine. Elle tend à disparaître devant les preuves pratiques de la sécurité du transport de la dynamite. Les chemins de fer, les voitures et les navires à voiles et à vapeur ont aujourd'hui transporté sans accident plus de six millions de kilogrammes de dynamite.

Les caisses emmagasinées doivent être protégées contre l'incendie, et contre la pluie et l'humidité. Les magasins doivent être protégés et surveillés comme ceux de la poudre ordinaire. Il faut s'abstenir de rester trop longtemps et inutilement dans les magasins : l'odeur de la nitroglycérine produit généralement des nausées. On vérifiera avec soin la neutralité des lots de dynamite à leur entrée dans le magasin et de temps en temps pendant leur conservation.

Cette vérification se fait à l'aide du papier de tournesol. Pour la faciliter et aussi pour empêcher toute pression de prendre naissance dans les caisses en cas de commencement de décomposition, on pourra tenir les caisses ouvertes dans le magasin. Mais, avec de la dynamite bien fabriquée, cette précaution n'est pas indispensable.

Il ne faut jamais conserver ni capsules ni autres explosifs dans les magasins à dynamite.

Les magasins doivent être de construction légère, aussi isolés que possible et entourés de cavaliers assez épais et assez élevés pour atténuer les suites d'une explosion.

Modes d'emploi de la dynamite.

Nous emprunterons en grande partie les indications détaillées, relatives aux modes d'emploi de la dynamite, au récent ouvrage de M. P. Barbe sur les applications de la dynamite à l'art militaire. La compétence toute spéciale de l'auteur permet d'être sûr du succès en suivant ses conseils pratiques.

Pour produire l'explosion d'une cartouche de dynamite avec la mèche Bickford, on coiffe un bout de cette mèche d'une capsule en cuivre contenant un fulminate énergique ; on enfonce cette capsule dans la dynamite et l'on allume l'extrémité libre de la mèche. La combustion de la mèche produit la détonation de la capsule ; cette détonation produit l'explosion de la dynamite. Une cartouche munie de sa capsule et de sa mèche constitue une cartouche-amorce, dont on peut se servir pour produire l'explosion d'une masse quelconque de dynamite. La préparation de la cartouche-amorce réclame des soins tout particuliers.

Les mèches de sûreté ou mèches de Bickford sont de trois sortes : les mèches blanches, les mèches goudronnées et les mèches gutta-percha.

La mèche blanche se compose d'une âme en pulvérin recouverte d'une dizaine de fils de chanvre ou de jute légèrement tordus et formant une corde molle. Le pulvérin est fixé autour d'un fil. Une série de fils de chanvre ou de jute juxtaposés entoure en hélice cette cordelette ; une seconde série de fils s'enroule en sens inverse et forme l'enveloppe extérieure de la mèche.

Ces deux séries de fils sont encollées pour bien adhérer entre elles et sur l'âme. La mèche est ensuite passée dans du plâtre ou du talc, afin qu'elle ne colle pas.

Ce genre de mèche est le meilleur marché et suffit aux travaux ordinaires, dans lesquels on recherche l'économie. Elle résiste mal à l'humidité et ne peut servir dans l'eau.

La mèche goudronnée est formée des mêmes éléments ; mais les deux hélices de sept fils sont enduites de goudron végétal, de sorte que cette mèche convient déjà mieux aux travaux en terrains aquifères.

Enfin, dans la mèche en gutta-percha, les fils, non goudronnés et non encollés, sont recouverts d'une gaîne continue de gutta-percha. Ces mèches, d'un prix plus élevé, doivent être employées sous l'eau et même dans les travaux simplement humides, lorsqu'on veut éviter les ratés.

On trouve encore dans le commerce des mèches rubannées, dans lesquelles l'âme en chanvre formant le tube à pulvérin est entourée en hélice de deux rubans goudronnés, enroulés en sens inverse. Ces mèches sont plus solides et meilleures que les mèches ordinaires. Enfin, on fait aussi des mèches en gutta-percha à double gaîne, qui peuvent séjourner sous l'eau sans s'altérer pendant un temps fort long.

A l'exception de cette dernière variété, les mèches ont en général un diamètre de 5 millimètres. Elles sont enroulées en paquets de 10 mètres de longueur. Leur vitesse de combustion est moindre que 1 mètre par minute. Elle n'est pas absolument régulière et dépend d'ailleurs des conditions dans lesquelles on place la mèche.

On doit s'assurer, chaque fois qu'on entame un rouleau de mèche, qu'elle ne brûle pas avec une vitesse plus grande que la vitesse normale : ce qui pourrait causer des accidents dans l'emploi. On en coupe pour cela un bout d'une dizaine de centimètres et on le fait brûler.

Une solution de continuité dans le pulvérin, ou encore une goutte d'huile qui aurait imbibé celui-ci, peuvent rendre la mèche d'un usage dangereux. Le feu se communique en effet avec une très-grande lenteur, soit par les fils, soit par le pulvérin huilé ; et l'ouvrier, croyant que le coup de mine ne partira pas, revient à son poste alors que la mèche continue à brûler.

Pour allumer les mèches de sûreté, on fait à l'extrémité une fente longitudinale dans le tube à pulvérin, ou bien on pratique près du bout une incision oblique qui traverse ce tube. On écarte les lèvres de la fente ou bien on plie la mèche à l'endroit de la coupure oblique, de façon à mettre à nu la poudre, et on donne le feu avec un cordeau porte-feu ou tout corps incandescent. En général, les mineurs se servent pour cela de leur lampe ; mais la mèche hésite souvent quelques instants avant de prendre feu, parce que la flamme fond le goudron ou la gutta-percha, ce qui empâte le pulvérin.

Les mèches goudronnées ou revêtues de gutta-percha conduisent bien le feu à travers l'eau. On en allume l'extrémité au-dessus de la surface de l'eau, puis le dégagement des gaz de la poudre empêche l'eau de mouiller le pulvérin.

A l'air libre, les mèches lancent souvent des flammes, dont il faut garantir la dynamite : autrement elle pourrait s'allumer, et la capsule détonant dans une cendre inerte pourrait ne pas produire l'explosion de la dynamite non consumée.

Les capsules doivent être chargées de fulminate de mercure pur ou mélangé d'une faible proportion de chlorate de potasse pour en faciliter l'agglomération. La charge de fulminate nécessaire, dans les circonstances ordinaires, pour produire l'explosion de la dynamite, est de $0^{gr},2$ à $0^{gr},25$: c'est la même quantité que celle qui fait détoner la nitroglycérine.

On pourrait s'étonner que la dilution de l'huile explosive dans un volume considérable de matière inerte n'augmente pas la difficulté de l'explosion, tandis que la nitroglycérine dissoute dans un liquide, comme par exemple l'alcool méthylique, devient inexplosible dès que la proportion du liquide étranger s'élève à 15 pour 100 du poids de la nitroglycérine. Ce fait s'explique par cette considération que, dans la dynamite, l'huile explosive forme autour des grains de silice une sorte d'enrobage qui n'interrompt nulle part la continuité du liquide, de telle sorte que la capsule est en contact à peu près aussi intime avec la nitroglycérine que si celle-ci était seule. Il en est tout autrement dans le cas d'une dissolution.

Les capsules Nobel usuellement employées pour amorcer la dynamite sont des tubes emboutis, en cuivre rouge assez épais, ayant $5^{mm},5$ de diamètre extérieur, et dont la longueur varie de 10 à 25 millimètres. Il s'en fait principalement trois numéros : les capsules simples sont chargées de $0^{gr},20$ à $0^{gr},25$ de fulminate de mercure ; les doubles ont une charge de $0^{gr},40$ à peu près, et les triples contiennent $0^{gr},6$ à 0,7. Le fulminate est aggloméré par pression ; ou bien, s'il est pulvérulent, il est retenu par un peu de collodion ou par un tampon de coton-poudre. Il peut arriver quelquefois, avec cette variété de capsules, que le coton-poudre s'altère : il convient donc d'en éprouver quelques-unes avant de s'en servir dans un travail important.

Dans les travaux ordinaires des mines et des carrières, la capsule simple suffit, et les mineurs en adoptent l'emploi dès qu'ils ont acquis une pratique suffisante de la dynamite, parce qu'elle coûte peu et que le prix de ces accessoires prend une grande importance dans des industries où l'on fait partir en un jour des centaines de coups de mine.

Mais, dans les travaux spéciaux, dans les applications militaires où la certitude de l'explosion passe avant toute considération de dépense, dans les chantiers où la dynamite vient d'être introduite et où les ouvriers

manquent d'expérience, il convient d'employer des capsules plus longues et plus chargées de fulminate. La charge peut être utilement portée à 1gr,5 dans certains cas spéciaux.

Il y a d'ailleurs pour justifier ce choix une grande raison : c'est qu'il est bien constaté aujourd'hui que la perfection de l'explosion de la dynamite, comme aussi des explosifs en général, dépend entre autres choses et principalement de l'intensité de la détonation initiale.

Parmi les faits qui ont permis d'établir cette influence du plus ou moins d'intensité de la détonation initiale sur la perfection de l'explosion, le plus frappant a été constaté, en Autriche, dans les expériences faites en 1870 pour étudier les moyens de provoquer l'explosion de la dynamite gelée.

On a reconnu que la dynamite au coton-poudre, amorcée par une capsule contenant 1 gramme de fulminate, produit toujours l'explosion de la dynamite gelée, tandis que celle-ci ne part pas lorsque la dynamite au coton-poudre détone sous l'influence d'une capsule de 0gr,3.

Si l'on n'a pas sous la main des capsules suffisamment chargées ou chargées d'un fulminate assez énergique pour assurer à faible dose l'explosion de la dynamite, on peut parer à cet inconvénient en enlevant avec précaution le fulminate d'une capsule pour le placer dans une autre. Mais c'est une opération délicate, qu'il ne faut pratiquer qu'en cas de nécessité exceptionnelle.

S'il faut enlever le fulminate d'une capsule, on serre le fond de cette capsule avec une tenaille que l'on a soin de tenir devant soi de manière à ne pas être blessé en cas d'explosion. Une compression progressive et énergique répétée dans plusieurs sens suffit pour détacher entièrement le fulminate, que l'on recueille sur une feuille de papier et que l'on verse dans une autre capsule. Si cette capsule doublée ne doit pas être utilisée de suite, on y dépose une goutte de collodion, qui fixe le fulminate et permet le transport ultérieur de la capsule.

On coupe la longueur voulue de la mèche Bickford, on rafraîchit l'un des bouts, de façon à avoir une coupure bien nette, et l'on enfonce cette extrémité dans la capsule jusqu'au fulminate. On assure la mèche dans cette position en serrant fortement le haut de la capsule avec une pince. Cette précaution est indispensable : sans cela, non-seulement le coup pourrait rater, mais encore la mèche sortie de la capsule pourrait enflammer la dynamite, qui brûlerait plus ou moins complétement sans aucun effet utile.

Pour produire la détonation de la capsule fulminante, il peut être avantageux d'employer l'électricité. On évite ainsi les dangers des ratés, puisque le coup de mine qui n'est pas parti au moment du passage du courant qui devait faire détoner l'amorce ne peut pas partir inopinément. On peut de plus produire l'explosion simultanée de plusieurs fourneaux ; ce qui présente dans certaines applications de grands avantages.

Il y a une grande variété d'amorces électriques. On trouvera à ce sujet d'intéressants détails dans un mémoire de M. Klein publié dans le n° 17 du *Mémorial de l'officier du génie*, dans une notice spéciale de M. Bréguet et aussi dans l'ouvrage de M. Champion, qui a fait de cette question une étude spéciale.

Les plus usitées sont : l'amorce Abel, l'amorce Ebner et l'amorce à fil de platine.

L'amorce de M. Abel est chargée d'un mélange intime de protosulfure de cuivre, de protophosphure de cuivre et de chlorate de potasse, additionné d'eau gommée ou d'alcool, puis desséché à l'air libre.

L'amorce est faite avec un fil de 4 millimètres de diamètre en gutta-percha contenant deux fils de cuivre. Les deux fils sont à un demi-millimètre de distance l'un de l'autre et sont mis à nu à l'une de leurs extrémités sur une longueur de 1 millimètre environ. Une feuille d'étain enroulée en forme de tube autour de la gutta-percha reçoit la composition; puis on ferme le tube, soit en repliant l'étain sur lui-même, soit à l'aide d'un petit morceau de baudruche. Le tout est ensuite enduit d'un vernis siccatif. A l'autre extrémité du câble de gutta-percha les fils sont mis à nu pour être reliés aux conducteurs.

Il suffit d'une faible étincelle électrique pour faire détoner cette amorce. On peut l'essayer à l'aide d'un courant très-faible et d'un galvanomètre ; mais cette épreuve peut donner au mélange une tendance à la décomposition qui en diminue la stabilité.

L'amorce du colonel Ebner, du génie autrichien, se compose d'un fil de cuivre d'environ 1 millimètre de diamètre, replié en son milieu en forme d'U. Les deux extrémités sont écartées pour être reliées aux conducteurs. Les branches de l'U sont maintenues dans un mélange de soufre fondu et de verre pilé qui laisse à découvert la partie arrondie du fil. Ce mélange durcit et conduit peu l'électricité. On coupe alors, à l'aide d'un trait de scie, le coude saillant du fil de cuivre, de façon à laisser entre les deux parties un intervalle d'environ $0^{mm},2$. Un petit tube de gutta-percha enveloppe le tout, et entre les extrémités du fil de cuivre on dépose dans ce tube une dose de poudre fulminante, composée de chlorate de potasse, de sulfure d'antimoine et de charbon. Le tube est fermé ensuite par un bouchon de liége.

Ces amorces peuvent être éprouvées par un courant très-faible. Elles détonent sous l'influence d'un courant d'induction, qui échauffe la composition fulminante en raison de la résistance que celle-ci oppose au passage de l'électricité.

Les amorces à fil de platine détonent par l'incandescence d'une spirale de fil de platine d'environ 1 centimètre de longueur et de $0^{mm},5$ à $0^{mm},1$ de diamètre. Ce fil présente 6 à 8 spires, espacées d'un tiers à un quart de millimètre. Ses deux extrémités sont soudées à deux conducteurs de cuivre, maintenus, suivant deux génératrices opposées, contre un petit

cylindre de bois formant le fond d'un tube en papier enroulé, qu'on remplit de pulvérin ou d'une autre composition fusante, et qu'on ferme par un bouchon de bois ou de liége. Le petit cylindre présente au-dessous de la spirale de platine une cavité, de façon que la poudre entoure bien le fil de platine et se loge entre ses spires.

Pour appliquer ces diverses amorces à l'explosion de la dynamite, on les insère dans une capsule de fulminate de mercure; on fait le joint avec de la poix ou de la gutta-percha.

Il y a un grand nombre d'appareils propres à la mise à feu des amorces électriques. Citons seulement l'appareil d'induction de Gaiffe, l'exploseur électro-magnétique de Bréguet, diverses piles électriques, diverses machines à électricité statique. La description de ces appareils nous entraînerait trop loin de notre sujet. On trouvera d'utiles indications dans le traité de M. Champion, dans une notice présentée par MM. Mahler et Eschenbacher à l'Exposition de Vienne et dans les ouvrages sur l'électricité.

Lorsque la cartouche fulminante est munie de sa mèche de sûreté ou de son amorce électrique avec des fils conducteurs, il faut la fixer dans la cartouche de dynamite pour constituer une cartouche-amorce.

Pour cela, on ouvre une cartouche par une extrémité, et l'on plonge la capsule dans la dynamite. Il faut éviter que la mèche plonge dans la dynamite, sans quoi cette dernière pourrait s'allumer avant la détonation de la capsule : on aurait alors une perte de matière; de plus, la combustion imparfaite qui se produit dans de pareilles circonstances donne naissance à un dégagement de gaz nitreux nuisibles à la santé. On rabat le papier de la cartouche autour de la mèche, et l'on assure la solidité du système par une forte ligature.

S'il s'agit de charger un coup de mine, on tasse au fond du trou de mine avec un bourroir en bois, les unes sur les autres, autant de cartouches qu'il en faut pour obtenir la longueur de charge désirée. Il est inutile d'ôter le papier; mais il faut avoir soin de tasser assez fort pour éviter qu'il y ait du vide entre les cartouches ou au-dessous de la charge de dynamite.

Le bourrage le plus énergique avec un bourroir en bois est sans aucun danger. La dynamite remplit exactement le trou de mine, se moule sur ses anfractuosités, et on réussit de la sorte à loger dans le trou de mine à peu près autant de nitroglycérine que dans le cas de l'emploi de l'huile explosive pure. La cartouche-amorce se place ensuite au contact de la charge, et on ne la comprime que légèrement, pour ne pas déranger la position de la capsule. Comme bourrage, on peut employer indifféremment du sable, de la terre ou de l'eau.

Comme nous l'avons expliqué, les gaz sont inoffensifs quand toute la dynamite a fait explosion; ils ne sont viciés de gaz nitreux et nuisibles

qu'autant qu'une partie de la matière a brûlé, ce qui arrive en particulier quand la capsule a été trop enfoncée dans la dynamite.

En cas de ratés, il ne faut jamais essayer de débourrer jusque sur la dynamite, car le choc de la barre à mine sur la capsule pourrait provoquer l'explosion. Pour utiliser la charge qu'on est menacé de perdre, il faut cesser de débourrer quand on arrive à 10 centimètres environ de la dynamite. On place alors dans le trou une nouvelle cartouche-amorce, et il est rare qu'en y mettant le feu elle ne provoque pas l'explosion de la dynamite occupant le fond du trou. Les mineurs prennent quelquefois la précaution, en vue de l'éventualité du débourrage, de placer un tampon de papier entre la charge et le bourrage. Mais il est encore plus prudent d'interdire aux ouvriers tout débourrage des trous ratés; et cette prescription est recommandable, non-seulement pour la dynamite, mais pour tous les autres explosifs.

A la rigueur, il n'est pas nécessaire de plonger la capsule dans la dynamite : ainsi, lorsqu'on lie ensemble deux cartouches de dynamite et qu'on insère entre elles une capsule fortement chargée, la détonation de la capsule produit l'explosion.

Pour produire l'explosion d'un poids déterminé de dynamite, on prend un nombre de cartouches correspondant à ce poids et on les dispose en tas les unes à côté des autres, en les serrant à la main autant que possible; souvent on fait une seule masse en ouvrant les cartouches et en tassant la matière à la main. Il ne faut pas oublier de se laver les mains toutes les fois que l'on a touché de la dynamite.

Pour provoquer l'explosion d'une caisse de cartouches, il suffit de pratiquer dans l'une des parois, à l'aide d'une vrille, un trou d'un diamètre suffisant pour le passage de la capsule. S'il s'agit de produire l'explosion de plus de 20 kilogrammes de dynamite, on superpose plusieurs caisses et l'on amorce l'une d'elles, ainsi qu'il a été expliqué ci-dessus. Toutes les caisses feront explosion simultanément, et leur effet sera d'autant plus sensible qu'elles seront mieux recouvertes de terre, de sable ou de pierres jetées à la main. Toutefois cette dernière précaution n'est pas indispensable.

Voici, à propos de la communication à distance des explosions de dynamite à l'air libre, trois expériences faites par M. P. Barbe à l'usine de Paulille :

1) Deux cartouches ont été juxtaposées et ficelées ensemble. Une capsule doublée a été introduite entre les deux cartouches. L'explosion du fulminate devait produire celle de la dynamite à travers le papier. D'après l'intensité de la détonation, on a présumé que les deux cartouches avaient fait explosion simultanément.

2) Deux cartouches ont été séparées par une planchette de 0m,009 d'épaisseur. Le tout a été ficelé et enveloppé de toile. La cartouche supé-

rieure était amorcée avec une capsule doublée; son explosion devait se communiquer à la cartouche inférieure à travers la planchette. D'après l'intensité de la détonation, on a présumé que les deux cartouches avaient simultanément fait explosion.

3) Entre deux groupes de deux cartouches superposées, on a placé deux planchettes de sapin ayant ensemble 0m,018 d'épaisseur, séparées entre elles par une lame d'air de 0m,010 d'épaisseur; la cartouche supérieure était seule amorcée avec une capsule double : son explosion devait se communiquer aux cartouches inférieures à travers les deux planchettes et la lame d'air; le tout était enveloppé de toile. D'après l'intensité de la détonation, on a présumé que les quatre cartouches avaient fait simultanément explosion.

Le fait suivant, rapporté par M. Trauzl, fait voir que deux masses de dynamite logées dans le même espace fermé et résistant peuvent faire explosion simultanément, bien que séparées par un grand intervalle. Dans un tuyau à gaz en plomb de deux mètres de long, on engagea à chaque extrémité une cartouche d'environ 17 grammes. Le feu fut mis à l'une des extrémités, et néanmoins les deux cartouches firent explosion ensemble. L'énorme pression d'air renfermé dans le tuyau, se propageant instantanément, agit comme l'eût fait l'explosion directe et interne d'une composition fulminante.

M. Abel a fait récemment sur le coton-poudre, sur la dynamite et sur les fulminates, une importante série d'expériences sur la transmission de la détonation à distance dans l'intérieur de tubes dont il a fait varier la nature, le diamètre et la longueur.

Voici d'abord les résultats obtenus avec la dynamite :

Les cartouches employées pesaient 78 grammes et avaient 10 centimètres de long et 25 millimètres de diamètre; elles étaient enveloppées de papier imperméable.

On commença les essais avec des tubes en fer forgé de 31 millimètres de diamètre intérieur et de 1m,80 de long, en insérant une cartouche à chaque extrémité. Il n'y eut pas communication de l'explosion. On recommença alors l'expérience en employant des tubes de longueur successivement réduite. La communication de l'explosion eut lieu quand la longueur de tube comprise entre l'explosion initiale et l'autre cartouche fut réduite à 1m,50. Ce résultat est le même que celui fourni par des cartouches de coton-poudre de poids à peu près égal.

Dans des tubes de 25 millimètres de diamètre, la transmission se fait à partir d'une longueur de 0m,90 avec des cartouches de 32 grammes.

On essaya de transmettre l'explosion d'une charge de 78 grammes de dynamite à travers des tuyaux de fonte de 0m,10 de diamètre et de 1m,54, 1 mètre et 0m,666 de longueur. On n'obtint que des résultats négatifs; mais, en répétant ces essais avec des tubes en fer forgé de 69 millimètres de dia-

mètre, l'explosion de la charge de 78 grammes de dynamite fut transmise à une autre cartouche placée à l'autre extrémité du tube, à une distance de 1^{m},59.

Cette expérience montra que la détonation de la dynamite se transmet mieux à une autre charge de la même substance que cela n'a lieu avec le coton-poudre, lorsque les conditions de la transmission deviennent difficiles. La grande différence entre les résultats fournis avec la dynamite par les tubes en fer et par ceux en fonte était due très-probablement à cette circonstance que ces derniers, qui n'étaient pas épais, présentaient au siége de l'explosion initiale une résistance insuffisante pour empêcher une grande déperdition de force, la percussion étant ainsi beaucoup moins complétement transmise à travers le tube.

Rapportons encore quelques-unes des conclusions que M. Abel a tirées de l'ensemble de ses expériences sur la transmission des détonations à travers les tubes.

La distance à laquelle la détonation peut se transmettre par l'intermédiaire d'un tube à une masse distincte d'une substance explosive dépend des conditions suivantes, savoir :

a) De la nature et de la quantité de la substance employée pour l'explosion initiale, et de la nature de la substance dont il s'agit de déterminer l'explosion, mais non pas de la quantité de cette dernière matière ni de la condition mécanique dans laquelle elle est exposée à l'action de la détonation.

b) Du rapport entre le diamètre de la cartouche mise en feu et de la seconde cartouche, et le diamètre intérieur du tube.

c) De la solidité de la matière dont le tube est formé, et, par suite, de la résistance qu'il oppose à la transmission latérale de la force développée au moment de la détonation. Cette condition ne paraît pas affecter d'une façon appréciable les résultats produits par la détonation dans les essais en petit, mais son influence devient apparente quand on opère sur une plus grande échelle.

d) Du degré de rugosité du tube employé pour la transmission de l'explosion, ou, en d'autres termes, de la grandeur de la résistance opposée au courant de gaz, et de la perte de force qui résulte du frottement des gaz contre les parois ou d'autres obstacles introduits dans le tube (par exemple, un tampon de laine librement posé dans le tube).

e) Du degré de perfection du canal de communication et de la position des deux cartouches par rapport à celui-ci (apposées contre les extrémités ou insérées dans le tube). Il est à peine nécessaire d'expliquer que si le tube est fendu ou fort élargi, soit au siége de l'explosion initiale, soit en tout autre point, ou même s'il existe une légère solution de continuité dans le tube, la distance de transmission doit être diminuée. Il va aussi

sans dire que si la cartouche mise en feu, ou celle dont on veut obtenir la déflagration, est apposée contre le bout du tube au lieu d'être insérée dans celui-ci, cette condition est défavorable à la communication de l'explosion; d'un autre côté, si la cartouche-amorce pénètre à quelque distance dans le tube, au lieu d'être seulement insérée de façon à en araser l'extrémité, la perte de force par dispersion latérale est considérablement réduite, sinon supprimée, et le courant de gaz conserve la puissance nécessaire pour transmettre plus loin la détonation.

La nature (en dehors de la résistance à l'extension ou à la rupture) de la matière composant le tube ne paraît pas exercer d'influence importante sur le résultat, autant qu'on a pu s'en assurer par les expériences. En tout cas, les effets des différences dans la rugosité des parois intérieures des tubes sont bien autrement importants que ceux que l'on pourrait attribuer à la nature de la matière dont ceux-ci sont formés.

Quand les conditions nécessaires pour la transmission de l'explosion sont seulement près d'être remplies, ou lorsqu'il se présente par accident un léger obstacle, il se produit fréquemment un résultat intermédiaire entre l'explosion brusque et la simple désintégration mécanique suivie de dispersion, et occasionnellement de l'inflammation des parties projetées.

M. Abel pense, comme l'avait déjà avancé M. Trauzl, que ce mode de transmission par tubes pourrait être appliqué pour compasser des feux, c'est-à-dire pour faire partir simultanément plusieurs charges sous l'influence d'une seule détonation. Dans quelques-uns de ces essais, le tube principal présentait des branches aux deux extrémités desquelles étaient placés des disques de coton-poudre comprimé. La transmission s'est bien effectuée dans toutes les branches, comme aussi dans le tube principal.

Déjà M. Lauer s'était servi avec succès, pour le compassement des feux, de tubes métalliques de 33 millimètres de diamètre et 1^{m},89 de longueur, portant une cartouche à chaque bout.

Il est souvent nécessaire de former un cordon plus ou moins long de cartouches, en les ajustant les unes au bout des autres. Lorsque le papier fait défaut, on procède de la manière suivante : On ouvre chaque cartouche à l'une des extrémités; on enfonce ensuite successivement chaque cartouche par son extrémité fermée dans le tube formé par le papier de la cartouche précédente; on opère le contact aussi bien que possible, et l'on pratique une bonne ligature. On a fait détoner de cette façon, en Autriche, des saucissons en toile et en papier de 19 mètres de longueur, sur 0^{m},01 de diamètre.

M. Abel a fait des expériences très-délicates pour mesurer la vitesse avec laquelle l'explosion se transmet dans des cordons de dynamite. Ce savant chimiste a pris des cartouches de dynamite à 73 pour 100, de 13 millimètres de diamètre et de 78 millimètres de long; il en a enlevé

les enveloppes, et il a placé bout à bout les cylindres de dynamite, qui pesaient environ 72 grammes l'un, en les pressant légèrement l'un contre l'autre. Il a préparé de cette façon des traînées de dynamite parfaitement continues, de 9^m,12 et de 12^m,76 de longueur. Le feu était donné, à la façon ordinaire, à l'aide d'une capsule fulminante, insérée dans une petite cartouche de dynamite ou dans un disque de coton-poudre comprimé, placé à l'une des extrémités de la traînée. Les instants du passage de l'explosion ont été déterminés à l'aide du chronoscope du capitaine Noble, à des distances de 1^m,21 et de 1^m,82 tout le long de la traînée. Les vitesses moyennes observées ont été de 5938 mètres et 6363 mètres par seconde. La vitesse est aussi grande au bout le plus éloigné de l'amorce que du côté de celle-ci, même dans la plus longue des traînées de dynamite sur lesquelles ont porté les essais. Le même fait a été constaté pour le coton-poudre, mais avec des vitesses de transmission moindres. Ce dernier fait explique les effets plus brisants et plus locaux de la dynamite employée à l'air libre.

M. le capitaine Lauer, du génie autrichien, a fait des essais pratiques sur les cordons continus de coton-poudre et de dynamite. Il a reconnu que, pour être sûr de faire partir par une seule détonation toutes les charges reliées à l'amorce, il fallait établir la communication avec des tubes en papier de 0^m,31 de long et de 5^{mm},5 à 6^{mm},6 de diamètre, reliés par de petites viroles en papier, et consolidés par de petites lattes en bois.

Dans une traînée de cylindres de dynamite, séparés les uns des autres par des intervalles vides de 13 millimètres, M. Abel a constaté que la vitesse de transmission n'est plus que de 1 897 mètres par seconde, soit moins du tiers de la vitesse minima constatée avec les traînées continues.

D'après des expériences faites à Montclain, en présence du général de Rivière, la détonation de la dynamite ne se communiquerait plus à l'air libre quand les cartouches sont à plus de 10 centimètres les unes des autres.

On peut encore citer à ce sujet une expérience faite à Vincennes pendant le siége. On pratiqua une brèche de 5^m,20 de long sur 0^m,60 de haut, dans un mur en pans de bois, par l'explosion de 2^k,500 de dynamite à 65 pour 100, logée dans un sac de toile. Un bidon en zinc, plein de dynamite et ouvert, avait été à dessein laissé à 2 mètres de la charge. Il fut retrouvé renversé et légèrement bosselé, mais la dynamite était restée intacte.

M. le capitaine du génie Pamart a étudié la même question sur de la dynamite à 55 pour 100. Voici, d'après M. le capitaine Fritsch, les principaux faits constatés dans ces recherches :

Dans une première série d'expériences, les deux charges renfermées dans des boîtes en zinc d'une contenance de 5 kilogrammes avaient le

même poids, et on faisait varier la distance entre les charges jusqu'à ce que l'explosion de la première entraînât celle de la seconde.

Avec une charge de	1 kilog.,	il fallut placer les boîtes à	0m,90	l'une de l'autre.
—	2 —	—	1m,75	—
—	3 —	—	2m,75	—
—	4 —	—	3m,50	—
—	5 —	—	4m,50	—

Dans une seconde série d'essais, on laissa constante et égale à 5 kilogrammes la charge directement mise en feu, et on fit varier le poids de la charge qui devait détoner par influence. On reconnut que, tandis que la distance était de 4m,50 pour produire l'explosion d'une charge de 5 kilogrammes, elle n'était plus que de 2m,25 pour une charge de 1 kilogramme. Quand les boîtes étaient plus éloignées, la dynamite de la seconde boîte était projetée, quelquefois allumée, la boîte disloquée; mais il ne se produisait pas d'explosion.

Mais, en remplissant de terre le vide que la charge laissait dans la seconde boîte en zinc d'une contenance de 5 kilogrammes, puis retournant celle-ci de façon que la dynamite se trouvât au-dessus, l'explosion par influence se produisit à la distance de 4m,50 : d'où l'on conclut que le poids de la charge influencée ne changeait pas la distance à laquelle l'explosion se communique lorsque la boîte est entièrement remplie.

La loi observée subsiste encore quand la seconde charge est placée à l'air libre, en tas ou dans une enveloppe de papier.

La troisième série d'expériences fut faite en plaçant la charge directement mise à feu à l'air libre, au lieu de l'enfermer dans une boîte en zinc; les distances diminuent beaucoup dans ce cas : pour des charges de 1 kilogramme, la distance n'est plus que de 0m,50.

L'influence de la matière qui constitue la première boîte est sensiblement nulle, tandis que cette influence est très-sensible pour la boîte influencée. Pour les boîtes en bois la distance n'est plus que le tiers de celle qui correspond aux boîtes en zinc.

Il est difficile de produire à basse température l'explosion de la dynamite avec les capsules ordinaires du commerce. Si l'on a le temps et les moyens, on peut faire dégeler une grande quantité de cartouches d'un seul coup, en les plaçant dans un vase étanche, que l'on plonge lui-même dans une bassine d'eau chaude.

On réussit néanmoins avec les capsules ordinaires à produire l'explosion d'un tas de cartouches gelées, toutes les fois que l'on dispose d'une cartouche-amorce molle. On obtient ce résultat bien facilement en conservant quelques cartouches dans ses poches ; elles restent molles, et le court intervalle de temps entre le chargement et la mise à feu ne permet pas à cette amorce de geler au point de rendre l'explosion impossible.

En aucun cas il ne faut mettre les cartouches gelées sur un feu nu, ni amorcer à l'avance les cartouches avec la capsule; cette opération ne doit se faire qu'au moment du chargement.

Si le temps qui doit s'écouler entre le chargement et l'explosion doit être considérable, et que l'on ait à craindre que la cartouche-amorce ne vienne elle-même à geler, il est prudent de renfermer toutes les cartouches dans une enveloppe résistante et d'employer une capsule à très-forte charge ou un ensemble formé d'une capsule ordinaire placée dans une bobine de fulmi-coton ou dans un disque de fulmi-coton comprimé. De cette manière, on pourra obtenir au milieu de la dynamite un choc assez intense pour déterminer son explosion en masse.

L'ouvrage de M. Lauer donne à ce sujet les résultats d'une suite d'expériences entreprises pour produire l'explosion de la dynamite gelée.

La bobine de fulmi-coton n'a pas été trouvée suffisante pour assurer toujours l'explosion : on a remarqué que, lorsque le coton-poudre avait été exposé à l'humidité, il ne donnait plus sous l'action de la capsule ordinaire qu'une détonation trop faible, et on a été obligé d'adopter en Autriche, pour l'armement de campagne, des capsules chargées à 1 gramme de fulminate.

On a essayé de plus, pour faire les amorces : la dualine, mélange de sciure de bois, de salpêtre et de nitroglycérine; la poudre ternaire du génie, mélange de bois écrasé, de nitrate de potasse et de nitroglycérine; le lithofracteur, mélange d'une mauvaise poudre de mine avec de la dynamite; et encore d'autres substances. Aucune de ces amorces n'a pu réaliser la certitude absolue d'explosion.

M. Isidore Trauzl semble avoir résolu le problème en composant son amorce de fulmi-coton granulé, saturé de nitroglycérine.

Toutefois, la meilleure amorce, quand on peut l'employer, est toujours une cartouche de dynamite molle.

Ajoutons que les travaux récents de M. Nobel permettent d'espérer la production de cartouches de dynamite qui ne se congèleront plus à aucune température.

Lorsqu'une charge de dynamite doit séjourner quelque temps en terre avant de faire explosion, il est indispensable de la protéger par tous les moyens possibles contre la pluie et les infiltrations d'eau, de manière à empêcher l'effet d'endosmose dont il a été question ci-dessus. Si l'on craint que les précautions soient inefficaces, il vaut mieux tout disposer comme si l'on opérait en terrains aquifères.

Des essais ont prouvé que la dynamite renfermée dans des tubes de papier mince sous l'eau à 15° faisait encore explosion après quinze minutes, sans qu'on ait constaté aucune diminution dans la force explosive, quoique toute la masse fût pénétrée par l'eau.

Aussi, pour les simples coups de mine en terrains aquifères ou sous l'eau, peut-on employer la dynamite dans ses cartouches ordinaires de papier :

on l'introduit et on la comprime comme il a été dit plus haut, et on la met en feu sous un simple bourrage d'eau; la seule précaution à prendre est de protéger contre l'eau le fulminate de la capsule. A cet effet, on recouvre le joint de la mèche et de la capsule avec de la cire ou de la poix.

Quand on n'a pas de capsules à sa disposition pour mettre en feu la dynamite, on peut employer la poudre, mais seulement dans les cas où la charge est fortement comprimée. Il suffit d'une cartouche de poudre fine de quelques grammes placés au contact ou même à quelque distance de la dynamite dans le trou de mine et allumée par une mèche quelconque. La cartouche peut être en bois et fermée d'un bouchon de liége. Elle gagnerait à être un peu plus résistante dans les cas de confinement incomplet.

Applications de la dynamite.

APPLICATIONS MILITAIRES.

Après avoir exposé les propriétés et les divers modes d'emploi de la dynamite, notre but principal est de faire connaître les applications de ce puissant explosif aux travaux publics, à l'extraction des pierres et à l'exploitation des mines. Nous devons renvoyer ceux qui voudraient étudier les emplois de la dynamite dans l'art de la guerre aux ouvrages spéciaux du capitaine Fritsch et de M. Paul Barbe, ancien officier d'artillerie.

Cependant, comme il y a parmi les services déjà rendus par cette nouvelle poudre à l'art militaire plus d'un cas analogue à ceux qui se présentent dans l'industrie, et comme une vue d'ensemble des applications réalisées ou tentées dans l'artillerie, le génie et la marine, peut donner une idée plus nette des propriétés de la dynamite, nous indiquerons sommairement dans ce chapitre, d'après ces deux auteurs, les principales applications militaires de la dynamite.

M. Barbe a résumé la question dans un chapitre spécial, que nous reproduisons ci-dessous :

« Pour ouvrir une brèche dans un mur de clôture, il suffit de déposer au pied de ce mur, sur le sol, de 3 à 5 kilogrammes de dynamite par mètre courant. La poudre peut être contenue dans des tuyaux en métal, ou dans des boudins en toile préparés à l'avance; la charge peut être composée de cartouches simplement déposées à terre. L'explosion est produite par une capsule et une mèche de mine; il est prudent de placer deux amorces au lieu d'une. On peut rester à une vingtaine de mètres du mur du côté de la charge. L'explosion abat le mur sur toute sa hau-

teur, et sur une longueur plus grande que celle de la traînée de poudre. La masse des matériaux reste sur place, mais il y a des projections qui blessent les défenseurs jusqu'à une quinzaine de mètres en avant.

« Lorsqu'on est paré, il suffit de trois minutes après le signal donné pour ouvrir un large passage à une colonne à travers une muraille de solidité ordinaire. Si le mur n'est pas défendu, ou si l'on opère la nuit par surprise, il n'y a aucune difficulté. Si le mur est défendu par des tirailleurs tirant par-dessus la crête, par des créneaux ou par des redans, il faut des hommes audacieux pour porter à sa place la charge de dynamite. Dans certaines situations, celle, par exemple, où a péri l'héroïque lieutenant Beau, la tâche paraît même dépasser les forces humaines.

« On peut essayer alors de lancer contre le mur, d'un point assez éloigné ou abrité, des fusées portant une charge de dynamite dont l'explosion se produit quand la fusée finit de brûler.

« Ce procédé, expérimenté à Paris par la Commission d'armement, mériterait d'être l'objet de recherches sérieuses.

« On pourrait encore, comme l'a essayé l'amiral La Roncière le Nourry, protéger par une forte cuirasse ou par un léger blindage portatif les deux ou trois hommes chargés de poser la dynamite.

« On peut d'un seul coup et en peu de temps abattre un mur sur des centaines de mètres de longueur, non plus pour y pratiquer une brèche, mais pour le démolir entièrement, soit qu'il s'agisse de favoriser l'action de l'artillerie, soit qu'en abandonnant la position on veuille retirer à l'ennemi l'avantage défensif de ce mur. Dans la prise d'un village ou dans la guerre des rues, pour s'emparer d'une barricade ou pour ouvrir des communications d'une maison à la maison voisine à l'aide de la dynamite, on emploiera le même procédé; ou, si le mur est mince et qu'on veuille ouvrir une simple porte, on suspendra à deux clous plantés à $1^m,50$ de hauteur et écartés de 1 mètre environ une guirlande de cartouches ficelées l'une au bout de l'autre : on ouvre ainsi une ouverture facile à agrandir avec quelques coups de pic, et le dégât est réduit au minimum, ainsi que les inconvénients du coup de mine pour les assaillants.

« Les mêmes moyens sont commodes pour démasquer une batterie établie à l'abri d'un mur ou d'un ouvrage de maçonnerie : au moment d'ouvrir le feu, on abat l'obstacle juste à la hauteur voulue pour conserver un parapet.

« Pour démolir une maison dont on occupe l'intérieur, il suffit de disposer dans la salle basse une charge proportionnée à l'importance de la construction, mais généralement faible (6 kilog. pour une maison de garde-ligne). C'est un simple monceau de cartouches, ou bien un sac plein de dynamite, ou une caisse de cartouches. Le feu est donné par une mèche de mine.

« On ferme les portes et les fenêtres : l'explosion renverse les quatre murailles et détruit la maison.

« On peut opérer à distance à l'aide de fils électriques dissimulés, si l'on veut détruire la maison après qu'elle aura été occupée par l'ennemi.

« On peut encore se proposer, lorsqu'on abandonne un poste et qu'on suppose qu'il sera occupé par l'ennemi, de le faire sauter un certain temps après l'avoir quitté, soit quelques heures, soit un ou plusieurs jours.

« Après avoir installé la mine dans un endroit bien caché, on prépare la mise en feu, soit à l'aide d'un réveille-matin allumant une allumette après un temps donné, soit à l'aide d'une bougie habilement dissimulée donnant le feu à la mine lorsque la flamme atteint un point donné de sa longueur. Les deux moyens ont été expérimentés à Paris pendant le siége, et paraissent susceptibles de donner dans certains cas de bons résultats.

« La dynamite présente de notables avantages sur la poudre pour le chargement des torpilles : elle ne s'altère pas si l'eau pénètre dans l'appareil par quelque fuite, et elle permet en outre par sa grande puissance la réduction des dimensions ; il en est de même pour les mines placées en terre, et improprement appelées torpilles. On peut en établir sans préparatifs spéciaux, en remplissant de dynamite des tuyaux de conduite en fonte ou en zinc, que l'on dépose dans une fouille et que l'on recouvre de pierres ou de mitraille.

« On peut ainsi, en très-peu de temps, entourer une position d'une enceinte défensive, en creusant une tranchée et la garnissant de tuyaux pleins de dynamite. La mise à feu se ferait au moyen d'un appareil électrique, et elle pourrait avoir lieu aussi par le seul fait du passage d'une troupe au-dessus de la mine. Sur un chemin de fer occupé par l'ennemi, aucune surveillance ne saurait empêcher des hommes déterminés d'installer contre ou sous le rail un pétard de dynamite de quelques centaines de grammes, presque impossible à découvrir, et qui cassera le rail au premier passage d'une locomotive et causera un déraillement qui encombrera la voie.

« Pour détruire un pont, s'il s'agit d'une opération prévue et préparée de longue date, on fera des chambres dans les piles et les culées; elles seront beaucoup moins volumineuses que celles qu'exige l'emploi de la poudre, de sorte que l'ouvrage ne s'en trouvera pas détérioré s'il ne devient pas nécessaire de le démolir. Si le temps manque, il suffit de mettre à nu une partie du ciel des voûtes, ou au milieu des arcs, et d'y déposer une charge proportionnée de dynamite, soit en une caisse, soit en un monceau. On mettra le feu par une mèche ou par l'électricité.

« On peut de même obstruer un tunnel en appliquant contre la maçonnerie une forte charge de dynamite; et ces divers moyens de destruc-

tion des chemins de fer sont tellement sûrs, que nous ne craignons pas d'affirmer qu'avec leur aide il sera toujours possible de ne livrer à l'ennemi, en cas de retraite, qu'un chemin de fer hors de service, ou même, s'il s'en est emparé, de lui en rendre l'usage très-dangereux ou impossible.

« L'artillerie pourra tirer un parti avantageux de la nouvelle poudre pour le chargement des projectiles creux. Une bombe ou un obus, avec une charge de dynamite bien plus faible que la charge de poudre, éclate en un plus grand nombre de morceaux, présentant une plus grande force de projection et produisant ainsi sur les troupes des effets plus meurtriers. Un projectile qui serait rempli de dynamite serait émietté par l'explosion; mais la masse de gaz dégagé agirait efficacement sur les ouvrages en terre, en bois ou en maçonnerie. Si l'on profite de la plus grande force de la dynamite pour réduire la capacité intérieure de l'obus, on peut, en lui conservant le même poids, en réduire le diamètre, et cette diminution du calibre permet de réduire le poids d'une pièce capable de lancer à une distance égale un projectile de poids égal et de valeur destructive égale.

« Pour débarrasser un cours d'eau des masses de métal ou de maçonneries qui l'encombrent, on les divise à l'aide de la dynamite, en faisant poser par un plongeur des charges renfermées dans des boîtes de fer-blanc ou dans des sacs imperméables, et en donnant le feu par un appareil électrique ou par une mèche de gutta-percha.

« On brise la glace qui recouvre une rivière ou un fossé de fortification, en faisant d'abord un trou dans la couche à l'aide d'un premier pétard de dynamite simplement posé à la surface, puis en introduisant par cette ouverture une charge plus forte qui en détonant sous l'eau soulève la glace sur une grande surface.

« On peut, en un quart d'heure, avec une vingtaine d'hommes, abattre cent arbres de $1^{m},20$ à $1^{m},50$ de tour, pour faire une barricade qui protége une retraite ou couvre une position. Il suffit d'entourer l'arbre d'un saucisson en toile rempli de dynamite, et de donner le feu par une courte mèche : l'arbre oscille et tombe sans qu'on ait besoin de s'éloigner de plus d'une vingtaine de mètres.

« On est quelquefois obligé d'ouvrir des tranchées dans la roche ou dans la terre durcie par la gelée. La dynamite peut être utilisée dans ces cas spéciaux pour hâter le travail. Il faut faire des trous avec une barre à mine ou une tarière, et déposer deux ou trois cartouches à 40 ou 50 centimètres de profondeur. Ce procédé, qui a été expérimenté à Paris, n'a pas donné d'abord de bons résultats; il semble mériter cependant d'être étudié de plus près.

« Si l'on peut approcher pendant une seule minute d'une pièce d'artillerie, on peut la détruire sûrement en introduisant dans l'âme une forte cartouche de fer-blanc remplie de 500 à 600 grammes de dynamite. La dose peut être choisie de façon à éviter les éclats : le canon est

crevassé et élargi sans éclater. On peut aussi casser un tourillon, la culasse mobile et l'affût, si l'on a le temps et s'il s'agit d'anéantir le matériel.

« Nous ne doutons pas qu'en instituant une expérimentation suivie de ces divers procédés, on n'arrive à en introduire l'usage dans la pratique militaire; nous croyons que le cercle des applications de la dynamite pourra être encore beaucoup élargi par des études pratiques, et que l'art militaire se trouvera ainsi définitivement doté de tout un ensemble de ressources nouvelles. »

Voici maintenant les conclusions que M. Fritsch a tirées d'un nombre considérable d'expériences et de faits de guerre dont il a pu se procurer les comptes rendus :

« On a vu que les propriétés caractéristiques de la dynamite consistent surtout dans sa force explosive, plus grande que celle de la poudre, et dans la faculté qu'elle possède d'agir indépendamment de tout bourrage. C'est à la première de ces propriétés que l'industrie fait surtout appel, car elle a généralement toutes les facilités désirables pour préparer ses explosions. Dans les ruptures militaires, non-seulement on tirera parti de l'intensité de cette force explosive en diminuant le poids des charges, mais on profitera surtout de l'économie de temps qui résulte de la possibilité de supprimer le travail de bourrage et même celui de forage. Il est inutile d'insister sur l'avantage que cette économie de travail et de temps procure à la guerre, qu'il s'agisse de rompre un mur pour ouvrir le passage à une colonne ou de détruire très-rapidement du matériel d'artillerie. Il n'est pas moins avantageux de pouvoir produire les mêmes effets avec des charges de poids moindres : car, si l'on conserve le même poids au matériel emmené, on porte avec soi une quantité de force plus grande, et une compagnie du génie d'avant ou d'arrière-garde peut avoir avec elle les moyens de rompre de grands ouvrages d'art en très-peu de temps et presque sans travail. Un escadron de cavalerie envoyé en reconnaissance, ou des éclaireurs faisant une pointe, peuvent porter dans leur giberne tout ce qu'il faut pour détruire des rails et même un ponceau de chemin de fer, et pour entraver pendant un certain temps les communications de l'ennemi bien loin de la base sur laquelle on opère.

« Enfin, l'action toute locale de la dynamite permet de l'appliquer là où la poudre donnerait de trop grands effets pour le but à atteindre. C'est ainsi qu'on peut l'employer à ouvrir instantanément des embrasures, à percer des baies de communication à travers des murs et à faire en un mot très-rapidement certains travaux qu'il faudrait exécuter à la pioche et en exposant fort longtemps les travailleurs au feu de l'ennemi. »

A propos de l'emploi de la dynamite pour la rupture des travaux en

bois de toute sorte, le mémoire présente les observations générales qui suivent :

« Les expériences qui viennent d'être mentionnées et les conséquences qui en découlent naturellement suffisent pour que l'on soit à peu près renseigné sur la marche à suivre pour la rupture des bois, quel que soit le cas particulier qui se présente en campagne.

« Ce qu'il importe surtout de ne jamais perdre de vue, c'est qu'en raison de ses propriétés brisantes, la dynamite n'exerce de grands effets que dans le voisinage immédiat du point d'explosion. Il est donc essentiel que la charge soit répartie sur toute la ligne de rupture que l'on désire obtenir, et essentiel aussi que le contact entre la charge de dynamite et la pièce de bois à rompre soit le plus intime possible. Si l'on s'éloigne, la rupture ne se produit plus, à moins que l'on n'augmente considérablement la charge.

« Il serait par suite utile de munir le mineur chargé de placer la dynamite de chevilles de bois ou de pointes de fer, de manière qu'il puisse assujettir la charge dans une position convenable avant de donner le feu à l'amorce. Tous ces préparatifs sont difficiles à faire sous le feu de l'ennemi, et le placement des charges est une opération d'autant plus délicate et plus dangereuse, que le choc d'une balle de fusil sur la dynamite peut suffire pour produire son explosion. Il est donc important que les tirailleurs envoyés attirent sur eux l'attention et le feu de la défense, pour que les mineurs puissent accomplir la tâche qui leur incombe.

« C'est en général le même homme qui place la charge et qui, avec un bout de mèche, allume le cordeau de la fusée d'amorce. Cela fait, il se retire aussitôt à trente pas en arrière et sur le côté : on a constaté, en effet, à peu près dans toutes les expériences, qu'il n'y a jamais de projections sur le côté et même que les débris sont presque toujours projetés en avant de la charge.

« Les colonnes d'assaut ou de travailleurs, ou bien les têtes de colonnes de troupes qui couvrent le travail des mineurs, peuvent être tenues sans danger à quatre-vingts pas de distance de l'explosion. Dans un fossé, on pourrait même réduire cette distance à cinquante pas. »

Voici les conclusions relatives à la démolition des murs non terrassés :

« 1° Le moyen le plus commode de faire brèche à un mur non terrassé est de pratiquer dans ce mur une tranchée horizontale par une charge de dynamite d'une longueur égale à celle de la section à produire, posée sur le sol au contact du mur, et dont le poids par mètre courant serait représenté par le cube de l'épaisseur exprimée en mètres, multipliée par le coefficient 8,85.

« 2° Pour que le mur s'écroule, il faut que la longueur de cette tranchée soit suffisamment grande par rapport à la hauteur du mur, sans quoi il ne se fait qu'un trou : en effet, la liaison existant entre les maté-

riaux de la construction fait que le poids des parties supérieures peut se reporter sur les parties non coupées assez voisines et empêcher l'écroulement.

« 3° Quand une brèche de faible largeur doit être pratiquée dans un mur, il faut donc non-seulement pratiquer dans le mur, par l'explosion d'un boyau de dynamite, une section horizontale, mais aussi une ou deux sections verticales qui limitent la brèche.

« 4° Dans les murs dont l'épaisseur n'est pas trop considérable, on peut pratiquer des ouvertures de forme déterminée en entourant ces ouvertures d'un chapelet de cartouches. Le nombre des cartouches par paquet est déterminé par l'épaisseur du mur.

« 5° Quand on a à faire brèche à un mauvais mur, il est possible que l'ébranlement produit par l'explosion suffira pour le faire tomber. Dans ce cas il vaudrait mieux placer la charge de dynamite à une certaine distance.

« On a eu à différentes reprises, pendant le siége de Paris, l'occasion de démolir promptement des maisons dans lesquelles on avait pénétré, soit pour empêcher l'ennemi de s'y loger, soit pour faire disparaître des couverts gênants pour les vues de la défense. On a toujours opéré avec de la dynamite librement posée dans une des chambres et on a réussi toutes les fois que l'on est parvenu à produire une explosion. »

Les murs de soutènement peuvent être détruits, soit par des charges logées dans des trous de mine, soit par des charges placées librement à l'extérieur des murs, soit encore à l'aide de mines à chambre cubique ou à chambre allongée. Les voûtes et les ponts de maçonnerie ont été aussi l'objet de travaux à la dynamite qui ont partout bien réussi.

« L'action de la poudre ordinaire sur les constructions en fer et en fonte est extrêmement faible, et jusqu'à ces derniers temps il a toujours été admis que pour détruire un pont en tôle ou en fonte il faut de toute nécessité démolir les piles qui le supportent. Or, dans le cas de ponts à très-grande portée, le résultat qu'on cherche à atteindre au point de vue militaire serait bien suffisamment obtenu par la rupture de la travée, ce qui permettrait de réduire les frais de la reconstruction coûteuse des piles.

« En outre, l'emploi du fer dans les blindages, soit de bateaux, soit de fortifications, est devenu tellement général, qu'il convient aussi de chercher à tirer parti des propriétés brisantes de la dynamite, pour rompre les défenses sur lesquelles la poudre ordinaire serait à peu près impuissante. »

M. Fritsch rapporte un certain nombre de faits recueillis principalement en Autriche sur les destructions de ponts et de blindages à la dynamite. Les résultats obtenus sont fort remarquables et prouvent tout particulièrement la force et la vivacité de la dynamite.

Les expériences faites sur les canons ont permis de conclure :

« 1° Qu'il suffit de 500 grammes de dynamite introduits dans l'âme, ou de un kilogramme placé sur la volée d'une pièce de campagne, pour la mettre hors de service ;

« 2° Que le bronze peut être déformé dans une large limite sans qu'il donne d'éclats dangereux, mais que la fonte et surtout l'acier donnent des éclats très-dangereux, dès qu'on force la charge et que la limite d'élasticité est dépassée ;

« 3° Qu'il est toujours avantageux, quand la charge est placée dans l'âme, de fermer la bouche par un tampon en bois ou en argile, ou par quelques gazons. » Ajoutons que l'on peut aussi se servir de l'eau comme bourrage.

On a fait aussi, dans divers pays, des expériences sur le chargement des projectiles creux à la dynamite. M. Fritsch rapporte ces essais et en tire les conclusions suivantes, d'abord au point de vue du tir des projectiles :

« En résumé donc, le tir des projectiles creux chargés de dynamite ne paraît pas absolument impraticable, mais les expériences actuellement connues ne sont pas suffisantes pour qu'on puisse en affirmer la possibilité. »

Puis, en ce qui concerne leur éclatement :

« Les expériences ci-dessus paraissent peu favorables à la dynamite, et l'emploi de cette poudre, qui morcelle trop le projectile et donne des éclats d'un poids insuffisant pour briser le matériel, semble peu avantageux. Tout au plus pourrait-on essayer de l'appliquer au chargement d'obus remplaçant les obus à balles ou les mitrailleuses, et dont les éclats seraient destinés à agir seulement contre des troupes. »

Ces conclusions semblent appeler de nouvelles expériences.

Enfin les dernières applications militaires de la dynamite relatées dans le mémoire sont relatives à son emploi dans la guerre souterraine, dans le chargement des fourneaux, fougasses, torpilles, et dans l'exécution des sapes forées. La force considérable de la dynamite a rendu dans ces usages les meilleurs services ; mais il faut tenir compte de son mode d'action brisant et local, et on ne doit pas lui demander de très-grands effets de projection.

« Pour les torpilles, il semble que la dynamite pourra rendre de grands services. On sait en effet que, pour défendre des passes où le tirant d'eau est faible, on ne peut employer que des charges de poudre relativement faibles et n'ayant par conséquent qu'un faible rayon d'action. Il en est de même pour les torpilles à percussion ou mouvantes, qui ne sont pas destinées à être submergées à de grandes profondeurs. Il semble donc que l'on pourra supprimer ces inconvénients en remplaçant

la poudre par les dynamites, et arriver à employer dans une très-faible profondeur d'eau de très-grosses charges pour avoir un très-grand rayon d'action. Il sera d'ailleurs d'autant plus facile d'atteindre ce but, que, sous un même volume, la dynamite donnera un poids plus grand de charge et une action plus considérable. »

APPLICATIONS INDUSTRIELLES.

C'est sur les applications de la dynamite à l'industrie que nous nous proposons d'appeler principalement l'attention de la Société. Quelque importants que soient en effet les services déjà rendus par le nouvel explosif à l'art de la guerre et ceux qu'il est permis d'en attendre dans l'avenir, il faut tenir compte de ce que ces sortes d'emplois ont heureusement d'exceptionnel : on n'a pas chaque jour des ponts à renverser, des brèches à battre ou des canons à briser. Il en est tout autrement des usages industriels : la construction des chemins de fer, des canaux et des routes, le creusement des ports, l'extraction des pierres, l'exploitation des mines, utilisent d'une façon permanente et avec des avantages signalés les propriétés si remarquables de la dynamite; ces travaux de la paix s'exécutent, grâce à ce précieux auxiliaire, plus facilement, plus vite et à moindres frais. Des milliers de coups de mine sont tirés chaque jour avec la dynamite, et dans chacun d'eux une main-d'œuvre pénible a été abrégée et un plus grand travail utile est recueilli. C'est là le point de vue capital de notre sujet, et nous chercherons à mettre en pleine lumière cette partie de la question à l'aide des principaux faits recueillis dans une pratique déjà fort étendue de la dynamite.

TRAVAUX A LA ROCHE : GALERIES, PUITS, TRANCHÉES, TUNNELS.

M. Trauzl expliquait comme suit, presque au début de l'emploi de la dynamite, les éléments nouveaux que son application apportait au percement des galeries des souterrains ou des mines :

« Quand on se sert de la poudre ordinaire, le trou pratiqué dans le front d'attaque de la galerie doit toujours être fortement oblique sur ce front. On l'incline de façon que l'angle de l'axe du trou avec ce plan soit égal ou inférieur à 45 degrés. La valeur maxima de l'avancement est donnée par la ligne de moindre résistance, qui est la perpendiculaire abaissée du centre de la charge sur le plan du front. Cette perpendiculaire est au plus égale aux 7/10 de la longueur du forage.

« La profondeur du forage est donc, dans le cas le plus favorable, les 10/7 de l'avancement.

« De plus, en raison de la faible puissance de la poudre et du ferme appui que prend la roche attaquée contre les parois intactes, surtout dans les galeries à petite section, on ne peut donner aux trous de mine que des profondeurs relativement faibles.

« Avec la dynamite il n'en est plus de même. On peut, excepté dans une roche très-tenace et sans fissures, placer le premier trou directement suivant la ligne de moindre résistance; et, en proportionnant la profondeur du trou de mine et la charge au profil de la galerie et à la résistance de la roche, on obtiendra le même effet que donnerait avec la poudre un trou à 45°. On arrachera un cône ayant pour sommet le fond du trou, et pour base un cercle d'un diamètre égal au double de l'avancement. Dans ce cas le travail de forage est égal aux 7/10 seulement de celui que nécessiterait la poudre ordinaire.

« En outre, la puissance de la dynamite permet de faire les forages plus profonds, et on peut dégager par le tirage à la dynamite du premier coup de mine posé normalement au front d'attaque une surface bien plus étendue qu'avec la poudre. En continuant à donner aux trous de plus grandes profondeurs, on arrive à réaliser, avec la même longueur totale de forage, des résultats qui dépassent de beaucoup ceux que pourrait fournir dans la même condition le travail à la poudre commune. La masse de roche abattue est en effet proportionnelle, toutes choses égales d'ailleurs, au cube de la profondeur du trou.

« En prenant pour bases les formules du traité de construction des tunnels de Rziha, les expériences font ressortir l'économie du travail de forage dû à l'emploi de la dynamite dans les galeries à faible section ($0^{mc},20$), à plus de 30 pour 100, et dans les tunnels, galeries principales, etc., à 45 ou 50 pour 100.

« Comme l'économie d'argent et de temps réalisable sur le travail de forage des trous de mine est le plus souvent proportionnelle à la diminution du forage même, il est clair que l'application de la dynamite, malgré son prix élevé, doit amener des avantages très-importants.

« D'après les expériences connues, on obtient moyennement, par l'emploi de la dynamite en terrain sec, sur les dépenses d'abatage (non compris naturellement les prix d'extraction), une économie d'environ 25 pour 100, et l'avancement peut presque toujours être à peu près deux fois plus rapide qu'avec la poudre. »

La justesse de ces considérations a été vérifiée par une expérience étendue et prolongée. On a reconnu cependant que le premier trou d'attaque ne devait pas être placé normalement au front. On lui donne une obliquité moindre qu'avec la poudre ordinaire, mais on ne peut le placer droit sur la roche que dans des terrains moyennement denses. Par contre, on a trouvé avantage dans la plupart des cas à restreindre le diamètre des forages en raison du volume beaucoup moindre occupé par la dynamite à force égale. On fait aujourd'hui les trous de

mine au calibre de 22 à 25 millimètres, au lieu de 40, 45 ou 50, et l'on trouve dans cette réduction de diamètre la source d'une économie considérable de main-d'œuvre. Enfin les forages à la dynamite peuvent être chargés sur une fraction plus grande de leur profondeur que ceux où l'on emploie la poudre. Il faut moins de bourrage, en raison de la plus grande vivacité de l'explosif.

En résumé donc, on recueille les avantages de la dynamite sur la poudre en plaçant le trou de mine plus près de la ligne de moindre résistance, en lui donnant un calibre moindre et une profondeur plus grande, et en le chargeant sur une plus grande partie de sa longueur. L'explosion arrache la roche jusqu'au fond du trou, malgré ces conditions plus difficiles que celles que comporte l'emploi de la poudre.

L'une des premières applications de la dynamite aux travaux publics en France a été faite sur la ligne de chemin de fer de Montpellier à Rodes.

Voici quelques renseignements donnés par M. Dumas à l'Académie des sciences, en octobre 1871, sur ces importants travaux :

« On a eu récemment, dans les travaux du chemin de fer du Midi, confiés à la haute direction de M. Chauvisé, ingénieur en chef à Béziers, un exemple très-frappant de la supériorité de la dynamite sur la poudre.

« Le tunnel de Saint-Xiste, sur la ligne en construction de Montpellier à Rodez, fut attaqué, pour aller plus vite, par cinq puits verticaux et à chacune de ses extrémités : ce tunnel est creusé dans le calcaire jurassique dur. La roche devint en peu de temps tellement aquifère, qu'avec l'emploi de la poudre et des méthodes ordinaires, ni les puits ni les galeries n'avançaient; pendant ce temps, le reste de la ligne se terminait, et l'on pouvait prévoir l'instant où son ouverture serait retardée par l'inachèvement de cet important travail. Alors on adopta l'emploi de la dynamite. Dès que les ouvriers eurent acquis quelque expérience, sous la direction de leurs ingénieurs, les avancements s'élevèrent à 0m,30 par jour dans les puits en fonçage, et 1m,30 dans les galeries en percement. Dernièrement, par suite de l'encombrement de nos voies ferrées, une livraison considérable de poudre Nobel se fit attendre quelques semaines : on fut réduit à continuer les travaux à la poudre ordinaire. Aussitôt les avancements retombèrent à 0m,08 dans le fonçage des puits, et 0m,30 dans le percement des galeries, en y employant le même personnel. Ce fait démontre les importants avantages qu'on pourra retirer désormais dans des cas analogues, et qui profiteront tout à la fois aux entrepreneurs et à l'État.

« L'intérêt des sommes dépensées s'ajoute chaque jour au compte de premier établissement : la Compagnie du Midi a donc hâte de terminer son travail. L'intérêt public est engagé aussi, tant à cause de l'utilité du

chemin de fer que par la garantie d'intérêt assurée par l'État sur tout le capital dépensé pour la construction de la ligne.

« Dans les tranchées et les tunnels de Cerbère, sur la section de Port-Vendres à la frontière espagnole, à travers les schistes des Albères, l'entrepreneur, sur le vu des résultats des sondages entrepris avant l'adjudication par les ingénieurs de la Compagnie, avait consenti, sur les prix de base de l'adjudication, un rabais considérable. Ayant rencontré des roches plus dures, plus fissurées et d'un travail plus difficile que ne le faisaient penser les sondages, il fut sur le point d'abandonner l'œuvre en demandant des indemnités, lorsque l'emploi de la dynamite lui permit de continuer avec des avancements plus rapides et une économie de main-d'œuvre. »

Les entrepreneurs des quatre sections du chemin de fer de Port-Vendres à la frontière espagnole tiraient ainsi un utile parti de la dynamite, lorsque le ministre des finances vint à interdire la fabrication de cet explosif. Les entrepreneurs, lésés dans leurs intérêts, adressèrent une pétition à l'administration des ponts et chaussées pour arriver à faire lever cette interdiction.

M. Malbes, ingénieur des ponts et chaussées chargé du contrôle de la construction du chemin de fer, appuya la demande des entrepreneurs dans un rapport motivé. Voici quelques-unes des considérations et des faits que cet ingénieur fit valoir à l'appui de ses conclusions :

« Mais l'emploi de la dynamite dans les travaux publics en général est une question de la plus haute importance, à cause des économies notables qu'on peut ainsi réaliser et des ouvrages impossibles, au point de vue économique, que cette substance permet d'entreprendre.

« Pendant les quelques mois qu'on a employé la dynamite sur les chantiers de la ligne de Port-Vendres en Espagne, il ne nous a pas été possible de faire tenir des attachements suffisamment détaillés pour en déduire exactement l'économie réalisée. Il est cependant constant, bien que MM. les entrepreneurs s'abstiennent avec soin de parler des résultats économiques dans leur pétition, que l'avancement par jour dans les galeries des souterrains a doublé, et que le prix plus élevé de la dynamite, comparé à celui de la poudre, ne pouvait pas absorber l'économie de main-d'œuvre qu'ils ont ainsi réalisée.

« La dynamite entre largement, depuis trois ans, dans la pratique en Allemagne, en Angleterre et en Amérique. Une foule de documents font connaître avec détail sa préparation, son emploi, les conditions de son transport en chemin de fer. Il résulte d'essais et d'expériences assez prolongés, cités dans ces ouvrages, que la dynamite permet de réaliser dans certains travaux de déblais de roche une économie variant entre 25 et 30 pour 100.

« Les voies ferrées qu'il reste encore à construire en France doivent

principalement traverser des pays montagneux et exigeront des déblais considérables de roche. L'emploi d'un produit capable de réduire de 25 pour 100 cet article important de la dépense d'établissement des chemins de fer ne saurait être négligé ou différé plus longtemps.

« Priver l'industrie des travaux publics et des mines de cette nouvelle poudre, alors que tous les pays en font un usage si grand et si général, ce serait les mettre dans un état d'infériorité inadmissible et que rien ne saurait justifier.

« Le chemin de fer de Port-Vendres en Espagne, d'un développement total de 11,267 mètres, est évalué, d'après les rabais des diverses entreprises, mais déduction faite de la valeur des terrains, à 7,864,000 fr.

« Les déblais de roche dans les tranchées à ciel ouvert s'élèvent à un cube de . . . . 648,300^mc

« Ceux des souterrains dans la roche aussi à. 156,000

« Total 804,300

« Ils sont compris dans l'évaluation ci-dessus pour une somme de 4,953,000 francs.

« Si l'emploi de la dynamite eût été général, comme les schistes formant la totalité des roches à déblayer sont avantageusement attaqués par cette substance, les prix de revient auraient pu être diminués de 25 pour 100 au moins et la réduction pour la ligne se serait élevée à 1,238,250 francs.

« On peut donc conclure sans exagération que, sur les deux ou trois cents millions qu'on dépense annuellement en France, en travaux de routes, canaux et chemins de fer, l'économie réalisable par l'application en grand de la dynamite se chiffrerait par millions. »

M. Many, l'un des entrepreneurs de ce chemin de fer de Port-Vendres aux Pyrénées qui a employé la dynamite d'une manière presque exclusive dans les tunnels qu'il a percés, constate comme suit, dans une note du 14 octobre 1872, la supériorité de cette matière sur la poudre ordinaire :

« Ses qualités principales sont :

« 1° La possibilité de l'employer sans le moindre inconvénient dans les parties aquifères, sans être obligé de sécher les trous de mine, l'eau qu'ils contiennent servant au contraire de bourrage.

« 2° Elle produit très-peu de fumée, et on peut éviter ainsi d'installer des ventilateurs, au moins sur une certaine longueur : nous avons percé 440 mètres de galerie avec peu d'inconvénients.

« 3° Cette matière est excessivement maniable ; quoique les ouvriers s'en plaignent dans les premiers jours, ils la préfèrent bientôt à la pou-

dre, car elle n'offre absolument aucun danger. Nous n'avons eu jusqu'ici aucun accident grave à déplorer.

« 4° Et enfin, la dynamite étant beaucoup plus forte que la poudre, pour le même travail elle produit plus d'effet : par conséquent, elle se substitue à la main-d'œuvre ; en sorte que, lorsqu'il y a pénurie d'ouvriers, comme sur la ligne où nous nous trouvons, il y a avantage d'employer cette nouvelle matière.

« En résumé, il résulte de l'expérience que nous avons acquise depuis bientôt deux ans que la dynamite de M. Nobel est préférable à la poudre ordinaire sous tous les rapports et à quelque point de vue que l'on se place. »

Voici sur le même sujet un extrait d'une lettre adressée au Ministre des finances par M. J. Flachat, ingénieur civil, chef du service de la construction des chemins de fer des Charentes :

« Voici les conclusions que la pratique de la dynamite m'a suggérées sur son emploi dans les travaux publics :

« L'usage de la dynamite dans les chantiers peut à mon sens être admis en France, tout aussi bien qu'il l'est à l'étranger, comme une nécessité et non à titre de tolérance. De même que l'industrie trouve essentiel, selon le cas, l'emploi de la vapeur à basse, moyenne ou haute pression, afin de satisfaire à des besoins variés ; de même, pour l'exploitation des roches, il est nécessaire que le constructeur puisse recourir à des poudres dont la puissance soit variée et réponde au but qu'il veut atteindre.

« Entraver l'emploi provisoire des forces que la science et l'industrie peuvent mettre à la disposition du constructeur serait, en ce qui concerne la dynamite, exclure des moyens de perfectionnements bien désirables pour l'exploitation des roches, et rien dans cette poudre ne me paraît motiver une pareille exclusion.

« La dynamite présente en effet, dans certains cas, de grands avantages sur la poudre ordinaire et beaucoup moins d'inconvénients. L'un des avantages les plus considérables est certainement celui de l'effort puissant et tout à fait local que l'on obtient d'un très-faible volume de cette poudre.

« La pratique me permet d'affirmer que cette qualité spéciale de la dynamite et son inaltérabilité dans l'eau ou par l'humidité permettent d'entreprendre bien des travaux qu'il serait impossible ou extrêmement difficile d'exécuter avec la poudre de mine. L'emploi de la dynamite ouvrira certainement un champ tout nouveau et plus pratique aux méthodes d'exploitation des roches, soit sous l'eau, soit hors de l'eau, et permettra de réaliser dans certains travaux de grandes économies de temps.

« En ce qui concerne les inconvénients que cette poudre explosive

présente à un moindre degré que la poudre ordinaire, il faut noter que les manipulations de la dynamite offrent moins de dangers que celle de l'autre poudre. Son inflammation sans l'intervention des fulminates ne produit pas d'explosion et diminue considérablement les chances d'accident. Le seul inconvénient que je lui reconnaisse, et qui retardera peut-être l'extension de son emploi, ce sont les maux de tête qu'elle occasionne à certaines personnes obligées de manier la dynamite non enveloppée.

« Sur les chantiers, cette poudre peut être abandonnée aux ouvriers sans autre surveillance spéciale que celle de son bon et judicieux emploi. »

Nous reproduisons ci-dessous un tableau des essais faits, en 1872, aux mines d'Anzin, sur l'application de la dynamite au percement des puits et des galeries.

Résumé des Expériences faites sur l'emploi de la dynamite dans les creusements de bowettes ou d'approfondissements de puits désignés ci-dessous.

FOSSES ET LIEUX OU LES EXPÉRIENCES ONT ÉTÉ FAITES.	RÉSULTATS OBTENUS COMPARÉS à ceux qu'aurait pu donner l'emploi de la poudre.		OBSERVATIONS.
	Avancement.	Prix de revient de la matière explosible.	
Bleuse-Borne. Approfondissement du puits, au diamètre de $3^m,55$.	17 °/₀ plus rapide dans les rocs (près de 1/6e).	Économie de 2 fr. 75 par mètre de puits dans les rocs.	Les avantages signalés en faveur de la dynamite sont : 1° On peut faire des trous de mine sur un faible diamètre. En leur donnant $0^m,03$ au lieu de $0^m,04$, on peut forer environ 6 trous au lieu de 5 dans le même temps ; 2° Il n'y a aucune perte de temps pour étancher et pour bourrer les mines dans les terrains aquifères ; 3° Le bourrage est plus facile et plus court ; 4° On peut retourner de suite sur une mine ratée, quand on a entendu l'explosion de la capsule ; 5° On peut faire jouer une mine ratée, en utilisant la poudre restée dans le trou : avec la poudre ordinaire, les cartouches sont perdues, et de plus il faut forer une autre mine ; 6° On peut prendre des charges de terrains beaucoup plus fortes qu'avec la poudre ordinaire : de là moins de trous à forer et avancement plus rapide. Les inconvénients signalés sont : 1° Les fumées sont beaucoup plus mauvaises à respirer que celles de la poudre ordinaire : au début, les ouvriers éprouvent de violents maux de tête ; 2° Le nombre des mines ratées est plus considérable ; 3° Nécessité de tenir les capsules et les cartouches dans des endroits secs, sinon ces matières se décomposent ; 4° Nécessité d'avoir une ventilation plus puissante qu'avec la poudre ordinaire.
Dutemple. Bowette du Nord à 316 mètres.	Dans les cuérelles, on gagne 1/4 sur le temps employé au forage des trous de mines.	Économie de 2 fr. 19 par mètre de bowette dans les cuérelles.	
Haveluy. Bowette du Nord à 220 mètres.	1/6e plus d'avancement avec la dynamite.	Perte de 3 fr. 06 par mètre d'avancement dans les rocs. Perte de 3 fr. 45 par mètre dans les cuérelles.	
Id. Bowette du Nord à 140 mètres.	Id.	Perte de 4 fr. 79 par mètre d'avancement dans les rocs. Et perte de 4 fr. 93 dans les cuérelles.	
Id. Approfondissement du puits, au diamètre de $4^m,75$.	Avancement plus rapide encore que dans les deux bowettes ci-dessus, relativement au travail fait à la poudre ordinaire.	Économie de 15 fr. 95 par mètre d'avancement dans les rocs et de 5 fr. 14 dans les cuérelles.	
Enclos. Bowette du Sud à 314 mètres.	1/5e plus d'avancement dans les cuérelles avec la dynamite.	Perte de 5 fr. 14 par mètre d'avancement dans les cuérelles.	
Casimir Périer. Bowette du Sud à 184 mètres.	Résultats obtenus en faveur de la dynamite. L'avantage est plus marqué dans les rocs que dans les cuérelles.	. . . .	

Voici les conclusions tirées par la Compagnie d'Anzin des faits que rapporte ce tableau :

« D'après les résultats constatés ci-dessus, il est certain que l'emploi de la dynamite est très-avantageux dans les approfondissements de puits ou autres travaux qui exigent de grandes excavations, tels que : accrochages, écuries, etc.

« Dans les galeries à travers bancs ou bowettes, l'avantage est moins marqué, mais l'avancement est cependant encore plus grand qu'avec la poudre ordinaire; ce qui fait que, même en admettant un prix de revient égal, il y a lieu d'employer la dynamite dans les bowettes où la ventilation peut être assez active. »

Depuis l'époque de ces essais, les avantages reconnus à la dynamite semblent s'être affirmés plus nettement et les inconvénients qu'on lui attribuait paraissent s'être atténués, car la Compagnie d'Anzin a beaucoup développé l'emploi du nouvel explosif. Plusieurs mines du Pas-de-Calais l'ont appliqué aussi avec succès tant qu'il leur a été possible de s'en procurer. De même, la plupart des houillères du Centre, du Midi et de l'Ouest ont adopté l'emploi de la dynamite pour les travaux au stérile, tout au moins pour le sautage des roches dures, crevassées ou aquifères.

Citons entre autres les mines de la Loire, d'Épinac, de Ronchamps, du Creuzot, de Montjean, d'Alais. Elles n'ont pas trouvé avantage, eu égard au prix assez élevé de cette substance, à s'en servir dans les terrains peu résistants ou dans les couches de houille dont l'abatage se fait à la poudre. Quelques expériences faites à la mine de Marles (Pas-de-Calais) sur l'abatage du charbon semblent cependant montrer qu'avec un mode spécial d'emploi on pourrait tirer bon parti de la dynamite. Il convient de forer des trous de grand diamètre et de grande profondeur, et de les charger faiblement en divisant la charge, puis pour tout bourrage de fermer l'orifice du trou par un tampon de déblais argileux.

Des essais faits dans les carrières à plâtre de Paris paraissent avoir indiqué qu'il ne convenait pas, au point de vue économique, de se servir de dynamite pour l'abatage du gypse.

Par contre, les ardoisières d'Angers, des Ardennes et de la Mayenne se sont très-bien trouvées de l'emploi de la dynamite dans leurs travaux préparatoires. On pratique à la dynamite les grandes excavations au stérile dont le fond donne accès à la couche exploitable.

Les grandes exploitations de calcaire de l'Ouest, dont quelques-unes fabriquaient sur place de la nitroglycérine, ont adopté avec empressement la dynamite; et, lorsqu'elles ont été empêchées par l'administration des finances de continuer l'emploi de cet explosif, elles ont fait parvenir leurs doléances à la Société d'agriculture de l'arrondissement de Saint-Lô et au conseil général de la Manche, qui ont, par des vœux fortement motivés, sollicité du gouvernement le retrait des mesures prohibitives.

Le phosphate de chaux s'exploite aussi avantageusement à la dynamite, et les exploitations des départements du Lot, du Tarn, du Rhône et de l'Aveyron en ont consommé d'assez fortes quantités.

Les mines et minières de fer ont aussi adopté assez généralement le nouvel explosif. Dans la Meurthe et en Algérie, on en a employé de fortes quantités.

Mais les qualités de la dynamite ont été trouvées plus précieuses encore dans les mines métalliques dont les filons sont souvent encaissés dans des roches très-dures. Voici sur ce point un compte rendu détaillé des résultats comparatifs donnés par la dynamite et par la poudre dans une mine exploitée au Brésil par une société anglaise. Malgré l'éloignement du pays d'où viennent ces renseignements, nous croyons devoir les présenter, en raison de l'entière confiance qu'ils nous inspirent et de la netteté remarquable des conclusions.

Lettre de M. John Hockin, président et administrateur délégué de la Société des mines de Saint-John-del-Rey (Brésil), 8, Tokenhouse yard (Londres), en date du 16 janvier 1872 :

« Cher Monsieur,

« M. Webb m'informe que vous désirez de moi quelques renseignements au sujet des résultats obtenus, surtout au point de vue de l'économie de temps et d'argent, par l'emploi de la dynamite dans les mines de Morro Velho, appartenant à cette Compagnie, au Brésil.

« Nous en faisons usage, comme vous savez, depuis 1869. Nous l'avons fait d'abord à titre d'essai pendant quelques mois, dans le double but de nous convaincre de la sécurité qu'elle présente dans son emploi, et d'habituer nos hommes à s'en servir.

« En 1870, satisfaits des résultats de nos essais, nous avons commencé à employer la dynamite : nous nous en sommes servis presque exclusivement pour le fonçage de deux puits dans des terrains très-durs.

« Je ne pense pas pouvoir mieux vous montrer l'économie de temps et d'argent qu'en vous communiquant un tableau que nous avons envoyé aux journaux de Londres il y a quelques mois, et qui établit la comparaison entre la poudre ordinaire et la dynamite au point de vue des frais et de l'avancement des travaux pendant quatre mois consécutifs en 1870 et 1871.

« Pendant les deux premiers mois, on s'est servi de poudre ordinaire, et, pendant les deux derniers mois, de dynamite.

« Vous verrez d'après ce tableau que pendant les deux premiers mois, avec la poudre ordinaire, nous avons avancé de 62 pieds 4 pouces, au prix de $136^{l}\ 17^{s}$ par 12 pieds; tandis que pendant les deux derniers mois, l'avancement a été de 120 pieds 8 pouces, et le prix de $87^{l}\ 8^{s}$ par 12 pieds.

MOIS.	EXPLOSIF employé.	NOMBRE de journées d'ouvriers employées au sautage pendant le mois.	SALAIRE des ouvriers pour travaux de sautage.	EXCÉDANT de prix de la dynamite.	LONGUEUR de trous de mine creusée.	AVANCEMENT TOTAL.	DIAMÈTRE des trous.	PRIX par toise, y compris l'excédant de prix de la dynamite.
1870.			£ : s.	£	pouces.	toises pouces pieds.	pouces.	£ : s.
Novembre....	Poudre ordinaire..	1679	335 : 16	»	34354	4 4 6	2 — 2 1/2	70 : 13
Décembre....	»	1869	378 : 11	»	32541	5 0 10	2 — 2 1/2	66 : 4
1871.								
Janvier......	Dynamite........	1844	368 : 16	70	49307	9 3 8	1 — 1 1/2	41 : 12
Février......	»	1817	363 : 8	75	41787	10 3 0	1 — 1 1/2	45 : 16

« Notre pratique ultérieure a pleinement confirmé les résultats précédents. Au mois de juillet dernier, alors que nous étions dans une roche très-dure, notre approvisionnement de dynamite s'est trouvé épuisé, et nous n'avons pu avancer que de 9 pieds dans le mois avec la poudre ordinaire; mais, ayant reçu de nouvelles provisions de dynamite, nous avons avancé de 24 pieds en un mois dans les mêmes terrains.

« Nos hommes sont maintenant tout à fait habitués à la dynamite et la préfèrent de beaucoup à la poudre, et nous étudions en ce moment la question de savoir si nous ne renoncerons pas complétement à ce dernier explosif. »

La mine de pyrite de fer de Saint-Julien-de-Valgalgues, près d'Alais (Gard), a adopté l'usage de la dynamite; et, bien que la sorte employée ne soit pas tout à fait celle à laquelle se rapportent tous les documents qui précèdent, et soit notablement plus faible et beaucoup moins brisante, on trouvera cependant intérêt à connaître les résultats si clairement consignés par M. V.-H de Ricqlès, ingénieur, dans une notice spéciale qu'il a récemment publiée. Voici les principaux passages de cette note :

« La mine de pyrite de fer de Saint-Julien-de-Valgalgues est à 8 kilomètres nord d'Alais. Le gisement est dans l'oolithe inférieure, au contact du calcaire à encrines (*Bajocien d'Orbigny*); le mur est très-bien caractérisé par une petite couche de marnes noires su-

praliasiques, au-dessous desquelles on trouve le calcaire gris-bleuâtre du lias. C'est un dyke compacte et *fort dur*, composé de pyrite de fer FeS^2 et de calcaire renfermant 40 pour 100 de soufre, 35 1/2 de fer et 24 1/2 en moyenne de carbonate de chaux, quelque peu d'arséniure de fer, mais en faible quantité. La puissance du gîte est de 1 à 12 mètres, mais ordinairement de 2m,50 à 4 mètres. L'inclinaison varie de 18 à 32 degrés, et la direction générale est N. 15° E. à S. 15° O.

« L'abatage de la pyrite, avant l'introduction en France de la dynamite, se faisait entièrement à la poudre ordinaire de mine; mais j'ai trouvé un si grand avantage à l'emploi de la dynamite, que la poudre ne devait jouer aujourd'hui qu'un rôle tout à fait accessoire pour les petits coups de mine, dans l'abatage du gîte de Saint-Julien...

« Pendant que j'ai pu me procurer de la dynamite, je m'en suis servi sur une large échelle, et j'ai obtenu d'excellents résultats de son emploi dans mes travaux, qui sont vastes, spacieux et parfaitement aérés.

« Les résultats que je me suis décidé à publier ne sont pas des chiffres souvent erronés, fournis par des expériences de détail, sous l'influence de circonstances exceptionnelles; ce sont des résultats certains, donnés par une exploitation pratique de deux années, faite par des mineurs habiles et très-exercés au maniement de la poudre et de la dynamite.

« J'ai fait deux essais suivis et prolongés.

« Dans le premier, j'ai fait travailler les mineurs à prix fait, à tant le mètre courant de trou de mine, soit à la poudre, soit à la dynamite, mais au compte de la Compagnie exploitante; dans le deuxième essai, j'ai fait travailler les mineurs à prix fait, à tant le mètre cube de vide produit dans des chantiers dont les dimensions étaient fixées par moi ou le maître mineur, en laissant toutes les fournitures de poudre, de dynamite, etc., au compte des mineurs.

« Dans tous les cas, les calibres des fleurets étaient les mêmes.

PREMIER ESSAI.

Résultat comparatif de 10 mois d'exploitation.

ABATAGE A LA POUDRE.

Avancement........	140^{m}	cube 2,368^{m}
Largeur moyenne....	4,60	
Hauteur moyenne...	3,60	
Nombre de coups de mine.......		16,400
Profondeur moyenne...........		0^{m},581
Longueur totale...............		9,530^{m}
Déplacement des fleurets........		0,022
Largeur du tranchant neuf......		0^{m},030
Cube abattu par mètre courant de trou.....................		0^{m3},248
Journées de mineurs..........		8,200

PRIX DE REVIENT.

Main-d'œuvre : 9,530 mètres à 3 fr. 50 c.............. =			33,355
Poudre........	2,850^{k}	6,555	10,410
Mèches.......	1,100P	715	
Papier........	1,200^{m}	300	
Acier.........	800^{k}	1,040	
Pointes.......	60,000	1,800	
Total..........			43,765

Soit par mètre cube :

Main-d'œuvre.............. fr.	14 09
Frais ci-dessus.................	4 40
Total...........	18 49
Quantité abattue par journée....	0^{m3},290
Prix de la journée......... fr.	4 067

ABATAGE A LA DYNAMITE N° 3 DE PAULILLE.

Avancement........	215^{m}	cube 3,460^{m}
Largeur moyenne....	4,35	
Hauteur moyenne...	3,70	
Nombre de coups de mine.		16,800
Profondeur moyenne...........		0^{m},590
Longueur totale.		9,900^{m}
Déplacement des fleurets........		0,022
Largeur du tranchant neuf......		0^{m},030
Cube abattu par mètre courant du trou.....................		0^{m3},349
Journées de mineurs..........		8,500

PRIX DE REVIENT.

Main-d'œuvre : 9,900 mètres à 3 fr. 50 c............... =			34,650
Dynamite.....	2,376^{k}	11,310	16,235
Capsules......	17,100	685	
Mèches.......	1,100P	715	
Papier.	500^{m}	125	
Acier........	1,000^{k}	1,300	
Pointes.......	70,000	2,100	
Total..........			50,885

Soit par mètre cube :

Main-d'œuvre.............. fr.	10 01
Frais ci-dessus.................	4 70
Total...........	14 71
Quantité abattue par journée....	0^{m3},407
Prix de la journée......... fr.	4 075

« Or, 290 : 407 : : 100 : x = 140

« Donc, pour 100 de travail à la poudre, j'ai obtenu 140 à la dynamite.

DEUXIÈME ESSAI.

« Connaissant le prix du mètre cube à la poudre et à la dynamite, en intéressant le mineur seulement à la main-d'œuvre, j'ai voulu l'intéresser ensuite complétement.

« Je n'ai plus alors employé le mode de travail au mètre courant de

trou de mine, où l'ouvrier n'avait d'autre intérêt qu'à faire le plus de mètres de trous de mine possible; j'ai pris pour unité le mètre cube à abattre, en laissant tout au compte du mineur : poudre, dynamite, capsules, mèches, papier à cartouches, usure d'acier, appointage des fleurets. L'ouvrier avait le choix, suivant le cas, d'employer la poudre ou la dynamite, de mettre le feu aux coups de mine par la poudre ou par la capsule Nobel. Tenant également compte de l'élévation des salaires, j'ai fait les prix au mètre cube, en rapport avec cet accroissement.

« Voici le résultat de 12 mois de travail, avec les mêmes ouvriers mineurs, déjà expérimentés et parfaitement exercés au maniement et à l'emploi de la dynamite :

Avancements	483m,67	4.933m3	
Puissance moyenne	2 40		
Largeur moyenne	4 24		
Nombre de journées		12,125	
Prix net par journée			4f 76
Prix brut par mètre cube			15 44
Dépenses par mètre cube			3 74
Prix net par mètre cube			11 70

« Le détail des dépenses se compose comme suit :

Poudre	1f 140
Dynamite n° 3 et capsules	1 366
Mèches de mine	0 237
Papier à cartouches	0 048
Usure d'acier corroyé	0 339
Appointage de fleurets	0 610
	3 740

« Dans le premier essai, les frais se répartissaient comme suit :

A LA POUDRE par mètre cube.		A LA DYNAMITE N° 3 par mètre cube.	
Poudre	2f 768	Dynamite et capsules	3f 468
Mèches	0 302	Mèches	0 208
Papier	0 128	Papier	0 038
Acier	0 441	Acier	0 377
Appointage	0 761	Appointage	0 609
	4 400		4 700
Différence en moins au 2e essai.	0 660	Différence en moins au 2e essai.	0 960

« La participation des ouvriers aux dépenses d'abatage a donc produit une économie moyenne par mètre cube de $\frac{0,660 + 0,960}{2} = 0^f,810$. Le prix du mètre cube brut est revenu à 15f,44 en moyenne, au lieu de

18f,49 qu'il revenait à la poudre ordinaire; et l'ouvrier a gagné 4f,76 par journée, au lieu de 4f,067 à la poudre.

« Donc finalement, l'emploi de la dynamite a réalisé, pour le mineur, une augmentation de salaire de 0f,70 par journée, soit 19 pour 100, et pour l'exploitation, 3 francs environ par mètre cube, ce qui fait 16 à 16 1/2 pour 100.

« Il y a donc double avantage pour le travailleur et pour l'exploitant, ce qui est très-important. De plus, chaque journée de mineur a produit 0^{m3},406, tandis qu'à la poudre seule, il est probable, d'après le premier essai, que chaque journée de mineur n'aurait pas produit plus de 0^{m3},300 à 0^{m3},312: moyenne, 0^{m3},306. Il y a donc, en nombre rond, un surcroît de travail produit de 0^{m3},100 par journée de mineur, soit 32 à 33 p. 100 de plus : d'où je conclus que 100 mineurs à la dynamite ont fait autant de travail que 133 à la poudre ordinaire, ce qui est un avantage très-précieux.

« Il résulte donc de ces deux essais, toutes conditions égales d'ailleurs :

« 1° Que les frais d'abatage par la dynamite seule sont de 7 pour 100 plus élevés que par la poudre, quand le mineur n'est pas intéressé. (Voir 1er essai.)

« 2° Qu'en intéressant le mineur et combinant l'emploi de la dynamite avec celui de la poudre, suivant les cas, les frais sont de 15 pour 100 moins élevés qu'à la poudre seule, et de 20 pour 100 moins élevés qu'à la dynamite seule. (Le mineur n'étant pas intéressé. 1er essai.)

« 3° Que la main-d'œuvre par mètre cube à abattre est de 28 à 30 pour 100 moins élevée à la dynamite seule qu'à la poudre seule; et que, par un emploi mixte de dynamite et de poudre, on n'arrive qu'à 15 1/2 pour 100 d'économie sur la poudre seule, et à une augmentation de 14 1/2 pour 100 sur la dynamite seule.

« 4° Que la rapidité d'abatage à la dynamite seule est de 40 pour 100 plus élevée qu'à la poudre seule, et de 32 pour 100 seulement plus élevée, par l'emploi mixte de la poudre et de la dynamite.

« 5° Que la journée du mineur à prix fait est plus élevée de 0f,70 environ, ou 19 pour 100, en employant la dynamite qu'en employant la poudre.

« 6° Qu'il y a une économie pour l'exploitation de 16 pour 100 environs, par l'emploi de la dynamite.

« 7° Qu'il y aurait lieu de supprimer presque complétement la poudre, pour y substituer la dynamite, surtout dans les roches dures, comme celles dont il est question ici, car l'économie et la rapidité du travail seraient encore plus grandes.

« 8° Que l'anomalie qui semble exister entre le coût d'abatage, par la dynamite seule et par la poudre seule, ou par la méthode mixte, n'est qu'apparente : car il importe peu que les frais soient plus élevés, si le résultat final, par unité produite, est plus avantageux comme prix de

revient, comme rapidité d'exécution, et comme prix de la journée de l'ouvrier.

« Comme conséquences générales de l'emploi de la dynamite, j'ajouterai :

« Que l'avantage de la dynamite est incontestable et immense dans les pays où la main-d'œuvre est rare et l'alimentation difficile, puisque l'abatage est plus expéditif; et, par exemple, dans le cas qui m'occupe, puisque 100 mineurs à la dynamite font autant de travail que 140 à la poudre ordinaire. Je dirai même qu'en France, où le développement industriel a pris depuis quelque temps un si grand essor, la dynamite est un agent indispensable à toute exploitation minière, soit quelle ait pour objectif la houille, soit qu'elle ait pour but les métaux : la houille, à cause des puits et galeries à travers bancs, travaux toujours longs et coûteux; les métaux, à cause de l'extrême dureté des roches encaissant les filons, et des filons eux-mêmes.

« La dynamite facilitera aussi d'une manière puissante l'exploration, et par suite l'exploitation de certains gîtes métallifères nouveaux ou abandonnés, pour ainsi dire inattaquables par la poudre ordinaire de mine, situés dans des pays arides ou d'un accès difficile, où la main-d'œuvre est rare, et par conséquent coûteuse: car, ainsi que je l'ai démontré, l'emploi de la dynamite diminue, sur une échelle assez vaste, les effets onéreux de l'élévation du prix de la main-d'œuvre.

« L'emploi de la dynamite est inappréciable dans les travaux aquifères, tels que le foncement de puits, percements à travers bancs, où la rapidité d'exécution a une importance bien plus considérable encore que le coût du mètre d'avancement ou mètre cube abattu.

« Il est indiscutable aussi que le prix général de revient d'une exploitation de mine (surtout métallique) doit forcément baisser par l'emploi de la dynamite ; les frais de roulage, extraction, machine, épuisement, aérage, employés, administration, restant sensiblement les mêmes, et la rapidité de production augmentant de 30, 40, et peut-être 50 pour 100 avec la dynamite.

« J'ajouterai, pour terminer cette petite notice, que je n'ai jamais eu à déplorer le moindre malheur causé, soit par le transport, soit par le maniement, soit par l'emploi de la dynamite (et j'en ai employé plusieurs milliers de kilogrammes). Quant aux accidents que pourrait produire la transsudation des cartouches, que plusieurs ingénieurs semblent redouter, il est, je crois, facile de les éviter, en tenant les caisses dans un endroit sec, et couchées à plat, de manière à ce que les cartouches ne se trouvent jamais dans une position verticale. Pour ce qui est de l'effet de la dynamite sur l'organisme et de son influence pernicieuse sur la santé des ouvriers, je n'ai pas eu à m'en plaindre dans mes travaux, qui sont très-bien aérés. Dans les commencements, les ouvriers se plaignaient de maux de tête et perte d'appétit; mais cela venait de ce

que les mineurs, n'ayant pas encore l'habitude que donnent la pratique et l'expérience de ce nouvel agent explosif, n'arrivaient pas à produire l'explosion complète. En effet, lorsque la dynamite s'enflamme sans explosion, les gaz produits ont une influence fâcheuse sur l'organisme; ces gaz, qui ne sont pas les mêmes, sont inoffensifs lorsque l'explosion est complète.

« Aujourd'hui, aucun ouvrier ne se plaint: car, comme on dit parmi les mineurs, aucun coup ne *rate;* tous ont la pratique de l'emploi de la dynamite.

« Il m'a donc été pratiquement démontré, sans que je puisse conserver aucun doute à cet égard, que l'emploi de la dynamite est une source de bénéfices pour les mines et pour les ouvriers mineurs, et que l'avantage est d'autant plus grand, que la roche est plus dure, plus aquifère et plus crevassée. »

L'ouvrage de M. le capitaine Fritsch rapporte dans sa dernière partie quelques exemples fort intéressants de l'emploi de la dynamite à de grands travaux à la roche. Nous devons renvoyer le lecteur à ces comptes rendus détaillés et nous borner à quelques indications sommaires.

Le premier travail décrit dans le Mémoire est celui qu'ont exécuté les troupes du génie autrichien pour la construction de l'aqueduc François-Joseph, amenant à Vienne les eaux du Schneeberg. Une étude détaillée de ces travaux a été publiée par M. le lieutenant en premier Makowiczka, du 2e régiment du génie autrichien, dans les nos 1 et 2 (1874) des *Mittheilungen über Gegenstaende des Artillerie und Genie Wesens.*

Il s'agissait d'établir une conduite d'eau de 100 kilomètres environ de longueur pour amener à Vienne les eaux des sources de Kaiserbrünn et de Stirenstein, situées sur le Schneeberg, à 300 mètres de hauteur. Dans la traversée du Hohlenthal, le long du cours de la Schwarzau, la conduite devait être pratiquée sur environ 2890 mètres de long, à travers le calcaire dolomitique compacte. D'après le projet, elle devait avoir sur cette étendue une pente générale de 1/200 et un profil de 1m,90 sur 2m,05 de hauteur sous clef. Pour économiser le temps, on devait attaquer le travail, non-seulement à ses extrémités et aux deux points intermédiaires où la galerie sort du rocher, mais encore sur vingt autres points du parcours. A cet effet, le projet comportait l'exécution de dix galeries de construction, ayant le même profil que la conduite dans laquelle elles débouchaient perpendiculairement, et présentant un développement total de 443 mètres.

M. Gabrielli, entrepreneur de ces travaux, qui s'était engagé à les achever complétement dans un délai de trois ans, à partir du 1er avril 1870, n'avait pu réussir, au commencement de novembre 1870, qu'à percer 370,80 sur les 3 330 mètres qu'il avait à creuser dans le roc. Cet entrepreneur s'adressa alors au ministère de la guerre pour obtenir qu'il fût

mis à sa disposition 250 sapeurs pour l'exécution des travaux de roctage.

Un premier détachement, composé de 2 officiers, 1 sergent-major comptable, 5 sous-officiers, 5 maîtres ouvriers et 70 sapeurs, fut envoyé sur les chantiers et commença à travailler le 14 janvier 1871, suivant les conditions d'un marché à tant par mètre courant de galerie. Le 1er mai, on avait déjà percé 379,20 de galerie. Sur la demande de l'entrepreneur, le ministre accorda l'autorisation de faire faire tout le travail à la roche par la main-d'œuvre militaire, et, en conséquence, il porta à environ 300 hommes l'effectif du détachement.

On se servit, comme poudre de mine, exclusivement de dynamite Nobel à 72 0/0 de nitroglycérine, de très-bonne qualité, en cartouches de 23 millimètres de diamètre et de 26 à 104 millimètres de longueur.

Dans le principe, les ouvriers de l'entrepreneur avaient employé la poudre ordinaire et reconnu qu'elle ne donnait, pour ainsi dire, aucun résultat, en raison de la grande dureté de la roche et de la faible section de la galerie. De plus, ils souffraient beaucoup de la quantité de fumée qui accompagnait les explosions. Sur les ordres du ministre, on avait également essayé le coton-poudre comprimé, en cartouches de 32,5 millimètres de long et 26 millimètres de diamètre, avec vide central. Cette substance ne pouvant supporter les frottements auxquels est exposée la cartouche contre les parois d'un trou de mine dont le diamètre est très-peu différent du sien, il fallut d'abord augmenter de beaucoup la longueur du tranchant des outils de forage, qui, avec la dynamite, est ordinairement de 23 millimètres. Le travail de forage se trouvait donc augmenté. On constata ensuite que, à hauteur égale de charge, l'effet de la dynamite est supérieur. Ainsi, dans le cas où l'on chargeait au coton-poudre, il restait un plus grand nombre de bosses ou têtes saillantes sur les parois de l'entonnoir; il ne se produisait, pour ainsi dire, ni fissures ni soulèvements dans la roche; la pierre complétement arrachée par l'explosion, une fois sortie de l'entonnoir, on n'obtenait plus rien ni au pic à roc ni à la main. Enfin cet agent exige des capsules plus fortes, et, par suite, plus chères que la dynamite, et son prix lui-même est plus élevé. Il en résulte que le coton-poudre comprimé, tout en paraissant plus avantageux que la poudre ordinaire, est incontestablement inférieur à la dynamite.

On n'a pas eu, à proprement parler, d'accident causé par l'emploi de la dynamite : car on ne peut mettre à la charge de cette substance les quelques explosions qui se sont produites quand on a manié maladroitement de la dynamite gelée ou préparé des cartouches-amorces devant un feu découvert.

Pour pratiquer dans la pierre très-compacte et très-dure une galerie de $1^m,90$ sur $2^m,05$ de haut, on s'est arrêté, après quelques tâtonnements, au procédé suivant :

On faisait travailler aux forages trois ouvriers à la fois et on les relevait toutes les huit heures. Un chef ouvrier, pour chaque galerie, était chargé de diriger et de surveiller le chantier, ainsi que de préparer les cartouches-amorces. Son service durait douze heures et il avait ensuite vingt-quatre heures de repos.

On commençait par placer dans le plan de tête de la galerie, un peu au-dessous de son centre, les trois premiers coups de mine, et on leur donnait le feu autant que possible simultanément, à l'aide de mèches de sûreté. Après le travail au pic à roc, on obtenait un entonnoir. On forait alors 8 ou 10 pétards pour déblayer toute la partie du front située au-dessus et sur les côtés de cet entonnoir à peu près central. Après leur explosion, on plaçait, un peu plus haut que les trois premiers forages, trois autres coups de mine, qui donnaient un nouvel entonnoir. On faisait sauter ensuite, à l'aide de pétards, la partie supérieure et les côtés de cet approfondissement; c'est seulement après que l'on attaquait le gradin inférieur par 8 ou 10 pétards horizontaux ou verticaux, aussi profonds que possible. Cela fait, on recommençait la même série d'opérations.

En suivant cette marche, on est arrivé, avec des ouvriers ordinaires, à faire avancer la galerie de 0^{m},60 environ par vingt-quatre heures; ce qui exigeait 35 à 40 coups de mine, consommant environ 3^{k},360 de dynamite.

Quand la roche, au lieu d'être compacte, présentait des fissures ou des stratifications, on modifiait le travail en ayant égard au nombre et à la position respective des couches. Les charges étaient plus faibles et le travail de percement avançait de 0^{m},80 par vingt-quatre heures, avec une consommation moyenne de 2^{k},800 de dynamite.

On rencontrait aussi parfois des parties de conglomérat où l'effet des explosions était plus considérable et s'étendait ordinairement de 5 à 10 centimètres au delà du fond du trou. La roche se désagrégeait fortement et le travail à la pince était très-productif. On pouvait incliner moins les coups de mine, leur donner plus de profondeur, tout en les chargeant seulement sur 1/5 ou 1/6 de leur profondeur.

Dans ces conglomérats, on commençait par approfondir le bas de la galerie sur 45 à 50 centimètres de hauteur et sur autant de profondeur, à l'aide de 4 ou 5 pétards placés sur la même ligne, inclinés de 35 à 40 degrés, profonds d'environ 0^{m},60, mais dont le fond ne se rapprochait pas à plus de 8 à 10 centimètres du niveau du sol de la galerie. On déblayait ensuite la partie supérieure sur une profondeur égale, en plaçant successivement les pétards par rangées. Un pétard horizontal, placé à 7 ou 8 centimètres du sommet de la voûte, terminait le travail. Dans ces conditions, le percement de la galerie avançait de 0^{m},95 par vingt-quatre heures, avec une consommation moyenne de 2^{k},520 de dynamite.

On trouvera dans le Mémoire de M. Makowiczka des tableaux donnant, pour chacune des soixante-huit semaines qu'a duré le travail, tous les renseignements désirables sur le temps employé, le nombre de trous de mine forés, leur profondeur, la hauteur de la charge par rapport à cette profondeur, la consommation de dynamite et de cordeau porte-feu, l'avancement correspondant de la galerie. M. Fritsch se borne à dire que pour percer 2380^m,20 de galerie, déblayer 2046 mètres cubes de roche dans la tranchée de Kaiserbrünn et pratiquer encore quelques excavations accessoires, il a fallu 160 074 trous de mine de 24 millimètres de diamètre, ayant ensemble une longueur de 72 089 mètres.

On a employé à ce travail 434 482 heures, 12 005 kilogrammes de dynamite et 122 678 mètres courants de mèches Bickford.

Le second exemple donné avec détail par le Mémorial de l'officier du génie est extrait du « Giornale del genio militare » de 1873, et se rapporte au percement des tunnels de Mesco et de Biassa, près la Spezzia.

Le tunnel de Mesco, long de 3 011^m,45, traverse une roche cristalline très-dure, mélange d'euphotite et de serpentine, s'élevant au milieu des roches arénacées et schisteuses du terrain éocène ou tertiaire inférieur qui constitue le territoire de Mesco. Cette roche formait une masse amorphe et compacte, sans apparence de stratification; on y trouvait cependant quelques divisions irrégulières, qui, selon qu'elles étaient plus ou moins nombreuses, rendaient plus ou moins facile le travail de déblai. L'eau était en petite quantité.

Le tunnel de Biassa, long de 3841^m,92, est percé à la racine du long contre-fort qui occupe le promontoire limitant le golfe de la Spezzia, du côté de l'ouest. Dans sa partie ouest, ce tunnel traverse des grès de grande dureté, stratifiés et mélangés de couches de marne qui appartiennent à l'étage éocénien. La direction de la stratification est à peu près normale à l'axe du tunnel; quant au soulèvement, il est presque vertical, avec une légère inclinaison à l'ouest. Les eaux ont été très-abondantes. Dans la partie est du tunnel, on rencontre d'abord, en partant de son débouché et s'avançant vers l'ouest, des calcaires noirs, mélangés à des marnes de dureté moyenne et à quelques couches de calcaire dolomitique, appartenant au lias inférieur. Plus loin, on trouve des marnes de diverses couleurs et de faible dureté, appartenant à l'étage jurassique et au terrain crétacé.

On employa à ces travaux la poudre et la dynamite. La première était la poudre de mine ordinaire des fabriques du pays. Les trous de mine qu'on en chargeait avaient habituellement 35 millimètres de diamètre.

La dynamite provenait de France et était livrée en cartouches de 22 millimètres de diamètre et de 45 à 180 millimètres de longueur, pesant 31^{gr},5 à 126 grammes, et de 25 millimètres de diamètre sur les mêmes longueurs, pesant de 40^{gr},25 à 161 grammes. Quand la charge était bien calculée, la dynamite brisait généralement la roche jusqu'au

fond du trou et la réduisait en débris de petit volume, qu'il était facile d'enlever.

Un des avantages qui sont signalés dans le rapport de M. l'ingénieur Siben, directeur des travaux du chemin de fer de Ligurie, c'est que la dynamite, produisant peu de fumée et ne donnant pas lieu à des gaz nuisibles, les ouvriers pouvaient retourner au travail immédiatement après l'explosion et ne perdaient pas de temps. Le rapport contient le tableau des résultats de l'année 1871. Ils ne s'appliquent qu'à la galerie de 7 à 9 mètres carrés de section par laquelle on commençait le tunnel. Les entrepreneurs ont fait usage aussi de la dynamite pour l'élargissement, et ils continuent à l'employer, ce qui suffit à prouver qu'ils y trouvent avantage.

Les résultats inscrits dans les tableaux se résument comme suit :

L'emploi de la dynamite a eu pour effet d'accélérer le travail de 37,4 °/₀ dans la roche cristallisée du tunnel de Mesco; de 34,4 °/₀ dans le grès de la partie ouest du tunnel de Biassa; de 43,9 °/₀ dans le calcaire marneux de la partie est de ce tunnel : en moyenne donc, de 38,6 °/₀.

L'économie dans la dépense, non compris le transport des déblais, les épuisements, les frais de surveillance et autres frais généraux, a été de :

18,2 °/₀ dans la roche cristalline de Mesco ;
11,7 °/₀ dans le grès de Biassa ;
17,5 °/₀ dans le calcaire marneux du même tunnel :
En moyenne, 15,7 °/₀.

Ainsi une galerie placée dans des conditions moyennes, et dont le percement à la poudre et en employant les procédés de forage habituel exigerait cinq années et coûterait 5 millions, ne demanderait que trente-sept mois et ne coûterait que 4215 000 francs, à la condition d'employer la dynamite, et cela sans tenir compte de l'économie résultant de l'amélioration du travail et qui porterait sur les frais de ventilation, d'épuisement, de surveillance, l'intérêt et l'amortissement des capitaux engagés et les autres frais généraux de l'entreprise, économie qui atteindrait certainement un chiffre considérable.

Nous aurions voulu consigner ici quelques faits recueillis dans le percement du tunnel du Gothard, qui s'effectue à l'aide de la dynamite. Mais nous devons, faute de renseignements détaillés, nous borner à dire que, grâce à l'emploi de cet explosif et de la perforation mécanique, ce percement difficile avance actuellement à la vitesse de 3 mètres par jour à chaque tête du tunnel.

TRAVAUX SUBMERGÉS.

Pour faire sauter à la poudre des roches submergées, il faut forer sous

l'eau des trous de mine, puis les charger de cartouches absolument imperméables, et produire ensuite l'explosion par des moyens tels, qu'aucune goutte d'eau ne puisse atteindre la charge.

La dynamite, qui n'est pas altérée par l'eau, qui peut faire explosion après un temps assez long d'imbibition complète, qui peut être bourrée avec l'eau elle-même, qui n'exige pas à la rigueur d'être confinée dans un fourneau de mine pour développer de grands effets, présente pour cet emploi particulier des avantages considérables.

Citons quelques démonstrations de l'emploi de la dynamite dans l'eau. Voici d'abord une expérience faite à Vincennes pendant le siége de Paris :

« Nous suspendons dans un seau plein d'eau un petit sac renfermant 100 grammes de dynamite, que nous laissons plonger dans l'eau.

« Le seau vole en éclats, dont quelques-uns sont projetés à une grande distance. »

On lit dans le procès-verbal des démonstrations faites au fort de Montrouge les détails suivants :

« Un tonneau cerclé en fer, de 2 hectolitres de contenance, placé debout et rempli d'eau, porte à sa partie inférieure une ouverture carrée, par laquelle on jette un paquet de quatre cartouches de 70 grammes munies de deux mèches préalablement allumées.

« Après l'explosion, on ne retrouve plus trace du tonneau; à la place où il reposait, s'est produit un entonnoir de $0^m,40$ de profondeur. »

Citons encore un extrait du procès-verbal des essais faits le 8 juillet 1871 à Montreuil-sous-Bois :

« Une noix de moulin à plâtre, en fonte, présentant la forme générale d'un cône tronqué, ayant $0^m,80$ de hauteur, $0^m,70$ de diamètre à la petite base et $0^m,80$ à la grande, $0^m,03$ d'épaisseur minima avec de nombreuses surépaisseurs, fut posée sur le sol par sa grande base. On garnit le fond d'un lit de plâtre, et on remplit ce vase d'eau jusqu'à un peu plus de moitié de sa hauteur. On prépara un paquet de six cartouches et de deux petites cartouches amorcées; on alluma les deux mèches et l'on jeta le tout dans l'eau. Le vase vola en éclats et les morceaux furent lancés avec une telle vitesse, que des ouvriers placés à environ 500 mètres entendirent siffler ces projectiles au-dessus de l'endroit où ils s'étaient abrités. Le sol était creusé à une cinquantaine de centimètres de profondeur, à la place où la noix de moulin avait été placée, sur un diamètre de $1^m,50$; les parois de ce trou étaient crevassées et comme damées par l'explosion. Une autre noix de moulin, analogue à la première, mais un peu moins épaisse, placée à côté d'elle, fut brisée en trois morceaux par le choc des éclats. »

Citons enfin un extrait d'une lettre du sous-lieutenant du génie Delahaye, relatant des expériences faites à Saint-Denis, en janvier 1871 :

« 600 grammes dedynamite ont été placés dans un sac de toile à l'intérieur d'un tonneau plein aux trois quarts d'eau. Ce tonneau était enterré dans le sol. A la suite de l'explosion, le tonneau avait été brisé et ses morceaux projetés, tandis que tout autour la terre avait été soulevée sur une épaisseur d'au moins 20 centimètres.

« 3 kilogrammes de dynamite ont été placés dans un sac et introduits dans une chaudière à vapeur à demi remplie d'eau. Cette chaudière avait environ 5 mètres de long et 1 mètre de diamètre; la tôle avait 10 millimètres d'épaisseur. L'explosion eut pour résultat de briser le bouilleur en deux parties, dont la plus petite, d'environ 1 mètre de longueur, fut soulevée de $0^m,80$ environ, et rejetée sur le dessus du fourneau, où elle retomba retournée. Des morceaux de tôle, des boulons, des rivets et des tuyaux ont été projetés à plus de 150 mètres du lieu de l'explosion. »

Les applications de la dynamite aux travaux submergés ont été nombreuses et importantes pendant ces dernières années. Nous en rapporterons quelques-unes.

La passe de Bocca Falsa, dans le port de Trieste, a été approfondie, en 1871, à l'aide de la dynamite (*Mittheilungen über Gegenstaende des Artillerie und Genie Wesens; Mémorial de l'officier du génie*).

La roche à attaquer était un calcaire feuilleté.

On essaya l'action des charges de $0^k,560$, $1^k,120$, $2^k,240$ et $4^k,480$, posées librement sur la roche à des profondeurs variant de $0^m,95$ à $3^m,79$. Ces charges étaient contenues dans des tubes de fer-blanc de $0^m,16$ de diamètre et de hauteur, portant deux anneaux à leur couvercle et quatre à leur partie inférieure, soit pour le cordeau porte-feu, soit pour le passage des cordes et du lest destinés à assurer et à diriger la descente de la charge. Un tube fermé à la partie inférieure traversait le couvercle et devait recevoir la cartouche-amorce.

Les trois premières explosions donnèrent les résultats consignés dans le tableau ci-dessous :

POIDS DE LA CHARGE.	PROFONDEUR D'EAU.	EFFETS DE L'EXPLOSION.
$0^k,560$	$0^m,95$	Le rocher se montra fendu dans différentes directions, jusqu'à $1^m,89$ de distance. Une colonne d'eau fut soulevée de plus de 6 mètres et la couche de rocher broyée à $0^m,16$ de profondeur. Ni dans cette expérience ni dans les suivantes il n'y a eu d'éclats de pierre projetés hors de l'eau.
$4^k,480$	$1^m,26$	La partie plane, de 10^{mc} environ de surface, sur laquelle reposait la charge, fut tout entière détachée jusqu'à $0^m,16$ de profondeur, et couverte de fentes très-fines.
$0^k,560$	$1^m,10$	2 1/2 mètres carrés environ de la même dalle furent brisés en morceaux de $0^m,015$ à $0^m,060$. Des fentes se produisirent jusque dans le feuillet inférieur mis à nu.

On continua les expériences avec des charges ayant, suivant le cas, $0^k,560$, $0^k,120$, $2^k,240$ et $4^k,480$, et l'on brisa ainsi la dalle, qui avait été simplement détachée dans la deuxième expérience, en morceaux assez petits pour pouvoir être facilement remontés.

Les charges suivantes, simplement placées dans les entonnoirs produits par les premières, amenèrent partout l'approfondissement et l'élargissement dans tous les sens des premières excavations. Les différentes couches détachées avaient des épaisseurs comprises entre 16 et 40 centimètres. On employa ainsi 18 charges de $0^k,560$, 6 de $1^k,120$, 7 de $2^k,240$ et 3 de 4,480 : soit en tout $19^k,140$ de dynamite. Les excavations produites mesuraient $0^{mc},63$, $0^{mc},95$ et $0^{mc},10$: le cube total dégagé était de plus de 34 mètres cubes. En outre, on réduisit en éclats un rocher isolé d'environ $0^{mc},180$ avec une charge de $0^k,560$, et un autre de $0^{mc},240$ avec une charge de $1^k,120$ dans $1^m,48$ de profondeur d'eau. Pour terminer ces expériences, on déposa sur le rocher du fond, par une profondeur de $3^m,79$, des charges de $2^k,240$ et $4^k,480$, qui produisirent des excavations ayant respectivement $0^m,223$ et $0^m,63$ de profondeur, et $1^m,26$ et $1^m,89$ de diamètre.

On peut se dispenser d'enfermer les charges de dynamite dans des boîtes de fer-blanc : de simples sacs de toile suffisent parfaitement ; on peut même, dans la plupart des cas, déposer au point voulu un paquet de cartouches ficelé, et portant une cartouche-amorce et une mèche.

M. Séguran, conducteur des ponts et chaussées, a exposé dans les *Annales des ponts et chaussées* les résultats qu'il a obtenus dans plusieurs opérations de sautage à la dynamite sous l'eau. Cet ingénieur a enlevé d'abord des blocs qui obstruaient la passe du port de Cassis (Bouches-du-Rhône). La dynamite employée n'était pas celle à laquelle se rapportent les résultats précédents : elle était moins forte, moins vive et moins convenable pour l'emploi sous l'eau. Voici le tableau de quelques-uns des faits observés par M. Séguran :

BLOC A DÉBLAYER.		CHARGE		PROFONDEUR D'EAU au-dessus DE LA CHARGE.	EFFET PRODUIT.	OBSERVATIONS.
NATURE.	DIMENSIONS.	POSITION.	POIDS.			
Bloc artificiel (béton).	20 mètres cubes.	Librement à la surface, sans bourrage ni forage spécial.	11 kilos en 55 cartouches.	$1^m,30$	Le bloc est coupé en deux parties à peu près égales, fissurées dans tous les sens, et écartées l'une de l'autre de $0^m,54$.	L'explosion a été très-violente et a donné lieu à un soulèvement d'une colonne d'eau de 1 mètre de diamètre et de 40 à 50 mètres de hauteur.
Portions du bloc ci-dessus, résultant de la première explosion.	»	Dans un trou de mine de $0^m,70$ de profondeur foré au scaphandre.	$0^k,8$ dans chaque bloc.	$1^m,30$	Chacune des deux parties est subdivisée en morceaux assez petits pour pouvoir être enlevés sans difficultés.	L'opération entière a coûté 110 fr. 70 c., dont 56 fr. 70 pour les $12^k,600$ de dynamite, et 54 fr. pour neuf heures de scaphandre employées à faire les forages.
Bloc naturel (calcaire).	3 mètres cubes.	Librement à la surface, sans bourrage ni forage spécial.	$4^k,00$	$0^m,80$	Le bloc est divisé en deux parties, écartées de $0^m,07$.	L'opération a coûté 48 fr., dont 18 fr. pour la dynamite et 30 fr. pour embrayer et enlever les deux morceaux.
Bloc naturel (calcaire).	$3^{mc},20$ $1^m \times 2^m \times 1^m,60$	Logée dans un trou de mine de $0^m,60$ de profondeur.	$0^k,800$	$1^m,00$	Le bloc est recoupé en fragments très-petits, qui sont éparpillés à 5 ou 6 mètres de distance, en sorte que l'on ne retrouve rien à son emplacement.	L'opération a coûté 33 fr. 60, dont 3 fr. 60 pour la dynamite, 24 fr. (4 heures de scaphandre) pour le forage du trou, 6 fr. (1 heure de scaphandre) pour l'enlèvement des débris.

La Compagnie des Messageries maritimes fit construire, en 1872, à la Ciotat, un chenal de 12 mètres de longueur à 95 mètres en avant de la cale de halage. Il s'agissait de porter le fond de 5^{m},30 à 6^{m},10 sur une largeur de 2 mètres.

On prépara des trous de mine de 9^{m},07 de diamètre, situés alternativement sur l'axe et à 0^{m},50 à droite et à gauche de cet axe. Aussitôt fait, chacun des trous sur l'axe ou chacun des systèmes de deux trous était chargé d'une cartouche de 700 grammes, que l'on y faisait arriver au moyen d'un entonnoir en fer-blanc de 7 mètres de longueur, puis fortemement bourré avec un bourroir en bois; on plaçait au-dessus une cartouche-amorce de 25 grammes, que l'on maintenait contre la charge par quelques poignées de gravier qu'on laissait tomber dans le trou par le moyen de ce même entonnoir.

Les débris enlevés à l'aide d'un ponton à roues, le mètre cube ressortit à 80^{f},24. Précédemment, la même Compagnie avait fait faire à la poudre des approfondissements analogues, qui étaient revenus à 140 fr. le mètre cube.

Un banc de roche rendait inaccessible une partie du quai de la Consigne dans le fort de la Ciotat, et l'on avait résolu de le déraser jusqu'à une profondeur de 5 mètres au-dessous des basses mers. Il se composait de bancs de grès très-minces de 0^{m},25 à 0^{m}, 35 d'épaisseur, séparés par des couches de sable de 0^{m},10 à 0^{m},15. L'emploi de la poudre était rendu difficile par le peu d'épaisseur des bancs de roches, car on ne pouvait mettre la charge dans la couche de sable.

Le crédit alloué n'étant pas suffisant pour toute l'opération, M. Séguran proposa de commencer par ouvrir un chenal de 10 mètres de longueur. Pour cela, il creusa sur le bord, et suivant une perpendiculaire à l'axe du chenal, six trous de mine disposés de 2 mètres en 2 mètres, arrêtés seulement quand on rencontrait une couche de sable suffisante pour empêcher la barre à mine d'avancer. Ces six trous achevés, on leur donna le feu et l'on en fit six autres placés parrallèlement aux premiers et à 1^{m},50 en arrière, et ainsi de suite jusqu'à l'extrémité du rocher. On devait enlever le rocher sur 2 mètres pour obtenir 4 mètres de profondeur d'eau : les trous auraient donc dû avoir 1^{m},50 de profondeur, mais on ne put leur donner que des profondeurs variables de 0^{m},25 à 1^{m},15. Cependant la hauteur de charge fut toujours de 0^{m},25 à 0^{m},40, afin de briser le banc situé au-dessous de la couche de sable.

L'opération réussit; mais les déblais n'ont pas encore été enlevés, faute de fonds, et M. Séguran se contente d'annoncer qu'il pense que le mètre cube de roc déblayé et enlevé ne reviendra qu'à 25 francs, tandis que le prix habituel à la Ciotat est de 35 francs.

APPLICATIONS DIVERSES.

Le sautage des roches, soit à sec, soit sous l'eau, dans les travaux publics, les mines et les carrières, est certainement la plus importante des applications industrielles de la dynamite; mais le nouvel explosif a été aussi employé avec succès à un grand nombre d'opérations spéciales, où ses remarquables propriétés ont pu être avantageusement utilisées. Nous nous bornerons à énumérer rapidement ces emplois particuliers de la dynamite.

On s'en sert, en Amérique, pour l'extraction de l'huile de pétrole. Quand la production des trous de sonde diminue, on fait détoner au fond du forage une charge de dynamite, qui ébranle et fissure la roche et produit de nouvelles issues par lesquelles l'écoulement recommence.

On peut de même employer la dynamite pour augmenter le débit des puits à eau ou des puits de salines. En 1870, un propriétaire de Gyeddesdal, faisant construire un puits dans sa ferme, rencontra à 25^{m},25 de profondeur une couche de silex très-dure. On allait abandonner le fonçage lorsqu'on eut l'idée d'essayer la dynamite. Une cartouche de 1^{k},100 suffit pour percer la couche de silex et même pour ouvrir une communication avec une couche aquifère. On fit sauter encore deux charges semblables, et le puits donne aujourd'hui 100 à 110 mètres cubes d'eau par jour.

En appliquant contre des tabliers de ponts en fer ou en fonte des boudins chargés de quelques grammes de dynamite, on peut les couper complétement.

C'est ce qu'on a fait sous l'eau, en 1872, à Billancourt, Saint-Ouen, Bougival, pour diviser et retirer de la Seine les masses métalliques composant les arches des ponts détruits pendant la guerre. Le même procédé a été appliqué à plusieurs autres ponts de la Seine et de la Marne. Les charges de dynamite étaient en général logées dans des boîtes en zinc, qu'un plongeur déposait sur les objets à briser. On mettait le feu par l'électricité ou à l'aide d'une mèche de gutta-percha dont l'extrémité sortait de l'eau. Quelquefois on se contentait de ficeler ensemble un nombre convenable de cartouches; on armait cette charge d'une capsule munie d'un bout de mèche en gutta-percha ; on allumait la mèche et on laissait simplement tomber le tout à la place voulue. La mèche ainsi allumée continue à brûler dans l'eau.

Voici, à ce sujet, l'extrait d'une lettre de M. Edmond Duval, qui a dirigé plusieurs travaux de cette nature :

« Mais la plus grande difficulté consista à débarrasser l'arche du milieu (du pont de Billancourt), formant une masse de fer de 150 000 kilogrammes, sans point d'appui pour la relever. On se décida à employer la

dynamite : on put couper et briser des poutres de fer de 20 à 40 millimètres d'épaisseur, à 5 ou 6 mètres de profondeur dans l'eau. Un plongeur descendait avec une boîte de dynamite, la plaçait à l'angle des deux pièces qu'il fallait séparer, et au moyen de l'étincelle électrique on obtenait la détonation. »

Il suffisait ordinairement de 2k,500 de dynamite placés dans une boîte en zinc de forme triangulaire. Voici le résumé de plusieurs expériences :

Première Expérience. — Une poutre de 19 mètres de long sur 2m,50 de haut était attachée au tablier du pont par sept poutres transversales : le tout fut brisé par neuf explosions, dont quatre de 5 kilogrammes et cinq de 2k,700.

2me *Expérience.* — Une poutre de tôle de 15 mètres de long sur 2m,50 de haut, et attachée au tablier du pont par cinq poutres transversales, fut brisée par cinq boîtes de 5 kilogrammes.

3me *Expérience.* — Une poutre de 25 mètres de long sur 2m,50 de haut, attachée au tablier par sept poutres transversales, fut brisée par sept boîtes de 2k,500.

Les poutres transversales avaient 0m,980 de haut et 52 millimètres d'épaisseur.

On a employé aussi la dynamite pour débiter des voussoirs de pont en fonte dont les grandes dimensions rendaient le transport difficile et la vente comme vieille matière peu profitable.

On a employé aussi quelquefois la dynamite pour briser la glace, dégager un cours d'eau ou préserver un pont des effets d'une débâcle. Dans ce genre d'application, il faut ou dégeler la dynamite au moment de placer les charges, ou se servir d'amorces capables de produire à coup sûr l'explosion de la dynamite gelée.

On se sert encore assez souvent de la poudre Nobel pour débiter dans les usines de grosses masses de fer, d'acier ou de fonte, des loups de fourneaux, par exemple, qui ne peuvent être déplacés ni utilisés et qu'on ne saurait diviser par d'autres moyens. Des opérations de ce genre ont été faites déjà sur quelques millions de kilogrammes de masses métalliques de ce genre avec facilité et économie.

La dynamite a été aussi utilisée pour briser des navires échoués, soit pour en utiliser les matériaux ou opérer le sauvetage partiel de la cargaison, soit pour dégager les passes ou bassins encombrés par ces épaves.

On trouvera, dans les divers ouvrages auxquels nous avons déjà emprunté plusieurs citations, de nombreux exemples de ces deux dernières applications, sur lesquelles nous n'insisterons pas davantage.

La dynamite a trouvé aussi d'utiles applications dans quelques défri-

chements, soit pour briser les arbres, soit pour diviser et même pour extraire les souches.

Voici à ce sujet un extrait de la déposition présentée, le 22 mai dernier, par le duc de Sutherland, devant la commisson de la Chambre des communes chargée d'étudier une loi sur les explosifs :

Question n° 1707. M. le Président : Dans votre opinion, l'emploi de ce nouvel explosif, s'il se généralisait, serait-il important pour les agriculteurs par l'économie qu'il apporterait à l'enlèvement des souches, des quartiers de roches et autres obstructions qui entravent la culture à vapeur et les améliorations ultérieures du sol ?

Réponse : Je suis certain que l'emploi de la dynamite serait important dans mon cas particulier. Nous sommes occupés à mettre en valeur de grandes étendues de tourbières et de grandes étendues de friches recouvertes de tourbe. La poudre ne ferait que s'infiltrer à travers les fentes des racines, et l'effet utile produit serait insignifiant; mais la dynamite semble avoir une si grande force, et elle fait explosion si rapidement, que les fissures ne paraissent pas diminuer son efficacité, et, au lieu de fendre seulement en partie les souches, elle les brise en morceaux et les met en état d'être très-bien enlevées par la culture à vapeur.

On emploie aussi la dynamite à la pêche : l'explosion au sein de l'eau d'une charge de dynamite tue ou étourdit les poissons qui se trouvent dans le rayon d'action assez étendu de la détonation.

Utilité de la dynamite.

Ayant fait connaître les principales applications de la dynamite aux usages de l'industrie, nous rappellerons, pour conclure, les opinions que l'étude des mêmes faits ou de faits du même genre ont inspirées à quelques ingénieurs expérimentés et autorisés.

Voici d'abord quelques lignes de la conclusion de notre collègue M. Caillaux, ingénieur civil des mines, sur l'étendue des services que l'on peut attendre de la dynamite :

« D'après ce que l'on peut déduire de l'examen des documents qui suivent cette note;

« D'après tout ce qu'on sait aujourd'hui sur l'emploi de la dynamite, sur les avantages qu'on en retire lorsqu'on la compare à la poudre ordinaire, sur son action dans les travaux publics, les tunnels, les tranchées, etc., et dans les travaux de mines, nous sommes conduits à considérer cette substance comme une matière explosive appelée à rendra de grands services à l'industrie et à être un puissant auxiliaire de la poudre actuelle.

« Un de ses grands avantages consiste à accélérer le travail sans offrir plus de danger que les poudres dont on s'est servi jusqu'à présent; son emploi tend à contre-balancer et même à diminuer les effets onéreux de l'élévation du prix de la main-d'œuvre, et, dans certains travaux aquifères, tels que les foncements de puits, etc., elle est devenue d'un usage pour ainsi dire indispensable.

« A l'aide de ce nouvel agent, qui n'a pas encore dit son dernier mot, pour lequel la voie du progrès reste toujours ouverte, qui vient répondre et répondra de plus en plus, avec la pratique, aux exigences des temps actuels ; à l'aide de ce nouvel agent, qui vient apporter le concours de sa force au profit de l'industrie, nous pourrons voir les travaux publics se développer plus encore qu'ils ne le sont aujourd'hui, et plus rapidement et plus économiquement exécutés, les chemins vicinaux et les voies ferrées qui doivent transporter la vie au sein de nos montagnes.

« Les services que nous signalons ainsi suffiraient certainement pour justifier l'étude sérieuse que l'on doit faire de la dynamite en même temps que la faveur dont elle jouit auprès des industriels qui la connaissent et l'emploient; mais il en est d'autres qu'elle pourra rendre encore, si son prix n'est pas trop élevé, et qui méritent aussi la plus haute attention.

« Si, en effet, le prix de cette substance n'est pas trop élevé, on pourra prétendre à reprendre un grand nombre de mines métalliques anciennes, abandonnées en France depuis des siècles.

« Sous l'influence de son action, unie à celle d'autres puissants agents, action qui deviendra de plus en plus grande à mesure que son emploi se généralisera, de nouveaux centres industriels pourront être créés dans des lieux déserts aujourd'hui et où régnait jadis une grande activité, et enfin la France, tout en ouvrant ainsi une nouvelle source de travail, puisera dans le sein de son sol tout ou partie des substances métalliques qu'elle achète chaque année sur les marchés étrangers.

« Par des expériences nombreuses dans des mines métalliques, par les travaux déjà exécutés sur les roches, nous savons que l'emploi de la dynamite au prix moyen de 4 fr. 50 le kilogramme, comparé à celui de la poudre au prix de 2 fr. 25, donne lieu à une économie de 20, 25, 30 et 40 pour 100, et que, dans tous les cas, si on n'obtient pas une économie immédiate d'argent, on double au moins le travail dans le même temps.

« C'est un immense avantage, sur lequel il est inutile d'insister.

« Sans entrer dans de plus grands détails, ce que nous venons de dire suffit pour montrer toute l'importance de la dynamite, dont l'utilité reçoit chaque jour, par la pratique, une consécration nouvelle.

« Les avantages qu'on en peut retirer ont été compris par tous ceux qui l'ont employée, et de nombreuses manifestations ont déjà été faites

en sa faveur, afin qu'elle pût être mise à la portée des travaux et des services privés ou publics.

« Enfin, nous pouvons conclure :

« Que l'emploi des substances explosives plus puissantes que la poudre ordinaire dans la voie chimique où elles sont entrées, voie encore perfectible, et en particulier de la dynamite, correspond aux plus hautes questions d'intérêt général. »

Citons encore les conclusions résumées du rapport que M. Trauzl présenta, dès 1869, au ministre de la guerre d'Autriche, sur l'utilité de la dynamite :

« 1° La dynamite répond, au point de vue de la puissance et de la facilité d'emploi, à toutes les conditions exigibles d'un explosif militaire.

« 2° L'expérience acquise depuis la fin de 1868 rend vraisemblable que le nouvel explosif peut être également accepté pour les usages militaires, sous le rapport de la stabilité chimique et de la possibilité de le transporter.

« 3° La dynamite présente sur la poudre de mine une supériorité marquée dans l'application aux industries extractives, construction des chemins de fer, exploitation des roches, etc. »

En suite à ce rapport, le ministère de la guerre de l'Empire décida de soumettre la dynamite à une série systématique et complète d'essais au point de vue de son emploi dans l'art militaire, et en même temps de remettre à l'industrie privée de plus grandes quantités du nouvel explosif, afin d'obtenir aussi dans cette direction des données précises et approfondies.

La conduite de ces séries étendues d'expériences fut confiée à M. Trauzl. Les résultats obtenus sont rapportés par le résumé suivant, qui fait connaître en peu de mots les conclusions auxquelles on est parvenu :

« La dynamite présente par rapport à la poudre noire, d'une façon incontestable, les avantages suivants :

« 1° La préparation en est plus simple, moins dangereuse, plus rapide, et donne un produit beaucoup plus semblable à lui-même.

« 2° La dynamite offre une sécurité bien plus grande au point de vue de l'explosion par le feu ou par les corps incandescents ; elle est pratiquement sans danger, au point de vue des coups et des chocs, tels qu'il peut s'en produire dans le transport : il en résulte qu'elle présente moins de danger de transport et d'emploi que la poudre noire.

« 3° La stabilité chimique est pratiquement suffisante : sa conservation n'est donc pas accompagnée de dangers spéciaux.

« 4° Sa force est, suivant les circonstances de l'application, de deux à dix fois plus grande que celle d'un poids égal de poudre noire, et sa faculté brisante permet un emploi très-avantageux là où il faut se servir de charges non confinées.

« En ce qui concerne le travail des mines et des tunnels, et l'extraction des pierres au jour, la dynamite est supérieure à la poudre, d'une telle façon qu'elle remplacera complétement cette dernière dans la plupart des cas.

« Pour les galèries et les puits, l'économie sur le travail de forage atteint moyennement de 20 à 40 pour 100; le temps gagné dans l'avancement du travail atteint de 40 à 70 pour 100. Cet avantage devient surtout très-marquant pour les travaux submergés.

« 5° Les gaz résultant de l'explosion, lorsque la mise à feu est bien pratiquée, sont moins nuisibles que ceux que produit la poudre noire.

« Si l'on considère l'ensemble de ces avantages si importants, on arrive à cette conclusion :

« Que l'introduction la plus rapide possible du nouvel explosif est hautement désirable pour l'intérêt militaire et pour l'intérêt économique du pays en général. »

La question était ainsi clairement posée au point de vue scientifique, mais la solution pratique présentait deux difficultés importantes : le monopole de la poudre, l'interdiction du transport sur les chemins de fer et sur les navires à vapeur.

Ces deux difficultés ont été levées par le gouvernement autrichien, et, depuis quelques années déjà, la dynamite, librement fabriquée, transportée et vendue, est entrée largement dans l'usage industriel. La consommation annuelle de l'Autriche dépasse aujourd'hui 500000 kilogrammes, et les bénéfices dus à l'application de ce puissant explosif sont immenses.

Il n'en est malheureusement pas de même en France. L'industrie de la dynamite s'y était établie en 1871 et le nouveau produit commençait à être apprécié par les industriels, lorsque l'administration des finances, dans un esprit étroit de fiscalité, vint entraver ce progrès, prohiba la fabrication et le commerce de la dynamite. Depuis deux ans, il n'est presque plus possible de se procurer dans notre pays cet agent si précieux, que nos voisins utilisent à leur plus grand profit. Les entrepreneurs de travaux publics, les exploitants de mines et de carrières, qui avaient adopté l'emploi du nouvel explosif, en sentent vivement la privation ; ils ont fait entendre leurs plaintes par tous les moyens en leur pouvoir. Les sociétés techniques et savantes, les conseils généraux des départements miniers, les associations d'industriels, ont soumis leurs doléances et leurs vœux au gouvernement et à l'Assemblée nationale.

Malgré ces démarches pressantes, la question n'est pas encore résolue, et le pays reste, sous ce rapport, dans un état d'infériorité regrettable sur ses concurrents.

Nous ne voulons pas traiter dans ce travail le point de vue administratif et légal de la fabrication et du commerce des explosifs. Nous avons eu d'ailleurs l'occasion de l'étudier dans d'autres publications. Nous nous bornerons donc à émettre en terminant le vœu que cette importante question d'intérêt public reçoive prochainement une solution favorable.

Nota. — Pendant l'impression de ce travail, l'Assemblée nationale a voté, le 8 mars 1875, une loi autorisant la libre fabrication de la dynamite moyennant impôt.

NOTICE

SUR

FRANÇOIS CAVÉ

CONSTRUCTEUR DE MACHINES

PAR M. JULES GAUDRY.

Le mécanicien qui, le 10 mars dernier, était conduit à sa dernière demeure par une foule d'ouvriers et d'ingénieurs, l'appelant leur maître, n'a été rien moins qu'un des créateurs de l'industrie française. Presque sans devanciers, comme les grands classiques littéraires du dix-septième siècle, il a formé l'un des premiers ateliers de constructions mécaniques du continent, avec 200 machines-outils originales, toutes sorties de ses mains. Il a installé plus de vingt usines et exécuté une multitude de steamers, de locomotives et de machines de toute sorte pour les deux mondes.

La postérité conserve la mémoire du docteur Papin et de l'architecte royal Salomon de Caus[1], et c'est justice, car ils étaient des savants de génie; mais qu'est-ce que leur œuvre auprès de celle de Cavé, qu'on a déjà appelé le *Stephenson français?* De sa maison si libéralement ouverte à l'étude, sont sortis, non-seulement des ingénieurs et directeurs, comme Delpech, Forquenot, Claparède, Thétard, Geiger (d'Hayange), Albaret, Lebrun, Castor; mais une multitude de chefs d'atelier, chefs de dépôts

1. On ne peut pas nommer Salomon de Caus sans saisir l'occasion de protester contre l'absurde légende qui en fait un pauvre inventeur incompris, victime d'une oppression barbare. Il est possible qu'il soit mort fou, quoiqu'on n'en ait nulle preuve; mais on voit par ses œuvres et ses dédicaces aux souverains qu'il était à la tête des savants et des artistes de son temps, et qu'il avait ce qu'on appelle une grande existence digne de ses talents. On peut en dire autant du docteur Papin, qui a été plus spécialement un savant, membre de toutes les Académies de son époque. Caus, architecte en chef du roi de France (on ne connaissait pas encore le mot d'ingénieur), a fait des merveilles de mécanique, notamment chez l'Électeur Palatin; mais elles étaient en bois et en plomb, et il ne paraît en rien rester.

de chemins de fer et contre-maîtres qui se distinguent par leur esprit d'initiative, leur intuition des méthodes simples, leur remarquable bon sens pratique dans leur art comme dans leur vie.

M. le Président de la Société des ingénieurs a voulu qu'un hommage public fût rendu à la mémoire de ce grand mécanicien, qui fut aussi un homme si droit en affaires et si excellent. Son histoire est d'ailleurs celle des premiers temps de l'industrie des machines en France.

I

François Cavé, né le 12 septembre 1794, de pauvres cultivateurs, au village du Mesnil, en Picardie, a montré, comme ses pareils, dès son enfance, son application et son aptitude au travail qui devait l'illustrer.

« Durant l'hiver, nous disait-il gaiement en sa vieillesse, j'allais à « l'école du village ; l'instruction n'y était ni obligatoire ni gratuite : je « payais quatre sous, plus un morceau de bois. J'étais le plus fort de la « classe, surtout en arithmétique. Gardant un jour le troupeau de mes « parents, je calculai avec un morceau de blanc sur mon sabot combien « l'âge de mon grand-père représentait de minutes. Une autre fois, sans « avoir vu de moulins à eau, j'en taillai un petit en écorce de saule avec « mon *eustache*. Dans mon enthousiasme je perdis mon troupeau. Je ne « fus pas trop grondé par mon excellent père, et mon aventure le décida à « me mettre en apprentissage chez mon oncle Pecquet, charpentier, « menuisier, serrurier, fabricant de moulins, cribles et tarares.

« En 1811 (c'est toujours Cavé qui parle) je vins compléter mon appren- « tissage à Paris. Je fis mon entrée par la barrière Saint-Denis, au milieu « des fêtes et au son du canon. Bien entendu, ce n'était pas pour le « pauvre diable qui, juste à cette même place, devait faire travailler « 2000 hommes sur 10 000 mètres de terrain. On célébrait la naissance « du roi de Rome. »

Cavé avait gardé un bien amer souvenir de ses débuts à Paris. Son patron, menuisier-modeleur, était brutal et avare ; sa misère était extrême. Ce fut un bonheur que la conscription de 1812 l'ait appelé à l'armée où il fut rapidement sergent. Licencié en 1814, il revint au Mesnil, embrassa ses parents et repartit pour Paris avec un écu dans sa poche, et suivi d'un chien nommé Argus. On montait alors au théâtre de l'Ambigu le drame du *Chien de Montargis*, où un chien avait à jouer un grand rôle. Argus concourut, fut admis et fit les délices des Parisiens. C'est avec les émoluments de l'acteur à quatre pattes que Cavé acheta ses outils, et qu'il se présenta chez M. Collier, constructeur-mécanicien, rue Richer. Il fut admis ; mais, au lieu de l'employer comme mécanicien-

modeleur, on le chargea de faire les portes, armoires, chambranles et pilastres d'un pavillon d'habitation en construction près de l'atelier. « J'allai, dit Cavé, sur les boulevards regarder aux devantures des bou« tiques comment tout cela était fait, comment étaient posées les fer« rures, et je me tirai d'affaire à la satisfaction de M. Collier, qui me « fit cette fois entrer dans les ateliers, où il y avait même une fonderie, « ainsi qu'une école qui me fut bien précieuse. Je commençai alors à « proprement parler ma carrière de mécanicien. »

Cavé entra ensuite comme contre-maître chez M. Hindenlang, filateur de cachemires à Clignancourt. Le moteur était un manége. Cavé persuada au patron de le remplacer par une machine à vapeur. On en commanda une, qui vint avec son balancier du deuxième genre, et une forêt de tringles grossièrement ajustées. « Ce n'est pas mon conseil qui est mauvais, « c'est la machine, dit Cavé à M. Hindenlang mécontent à la vue de cette « ferraille: laissez-moi en faire une à mon idée; engagez-vous seulement « à la prendre si elle travaille bien et à faire les avances de fonds, sauf « à vous couvrir, en cas d'échec, par des retenues sur mes salaires. » M. Hindenlang consentit, touché d'une offre aussi délicate, et encouragé d'ailleurs par bien des perfectionnements déjà introduits dans sa filature.

Cavé se mit péniblement à l'œuvre avec ses deux frères Louis et Amable, qui étaient venus le rejoindre à Paris, et ils construisirent la première machine à vapeur oscillante, qui eut un plein succès, et dont l'invention par Cavé n'est pas contestée.

Quand M. Hindenlang transporta son industrie rue des Vinaigriers, à Paris, c'est toute la filature que Cavé réorganisa, avec des dispositions neuves et notamment des mouvements selfacting qui firent événement. Les Cavé furent même sollicités de venir à l'étranger; ils refusèrent, et s'établirent à leur compte avec quelques ouvriers leurs amis, d'abord au quartier de la Bastille, puis à la barrière Saint-Denis, en premier lieu sur le côté gauche, où le mécanicien Tamisier leur succéda, et finalement sur le vaste emplacement à droite, où les ateliers ont pris leurs vastes développements. La première œuvre des Cavé a été une seconde machine oscillante pour l'imprimerie Didot; puis vinrent une multitude d'appareils exécutés dès l'origine à l'aide de machines-outils. Le nombre de celles-ci s'augmenta chaque année sous les formes les plus variées, les plus originales. Toutes ont été l'œuvre des Cavé, de leurs dessinateurs ou contre-maîtres, sauf deux *limeuses* venues de chez Calla, dont l'atelier, contemporain de celui des Cavé, mériterait aussi son histoire.

Un jour, sans doute, elle sera faite; et la même justice que la Société des ingénieurs rend en ce moment à Cavé sera rendue aux autres maîtres qui ont, avec lui, fondé en France l'industrie des machines. On ne sourira pas de la simplicité primitive de leurs procédés comparés à nos moyens actuels; mais on sera pénétré d'admiration pour le génie et

l'abnégation de ces hommes qui avaient tout à improviser, tout à imposer à leurs contemporains incrédules ou distraits. On verra dans cette histoire Pihet et Calla entrer dans la carrière des machines de précision, en appropriant à nos mœurs les systèmes qu'ils allaient laborieusement étudier à l'étranger. On verra Perrier créer l'atelier de Chaillot; Manby, celui de Charenton, qui fit les premiers bateaux de fer, et Chagot, au Creuzot, exécutant en plusieurs années le *tour de force* de la *pompe à feu de Marly*. On verra aussi Hallette commencer par une bonne action son établissement d'Arras.

Parmi les prisonniers de guerre qui y étaient internés, se trouvaient des forgerons et autres artisans anglais. Hallette les réunit, et, en adoucissant leur sort, il s'en servit pour créer ces grands ateliers d'Arras, dont les machines-outils n'ont peut-être pas été dépassées, témoin sa raboteuse longue de 15 mètres sur 5 mètres de large.

En même temps que lui, mais plus vite encore, Cavé donna à ses ateliers une puissance de production qui lui permettait, dès 1830, d'exécuter les plus grandes machines. En 1844 il partagea avec Hallette et le Creuzot la commande des frégates à vapeur qui ont commencé la réorganisation de notre flotte nationale. On voulait les commander en Angleterre. Si elles sont restées à l'industrie française, on l'a dû en grande partie à l'énergie de trois membres de la Société des ingénieurs civils qui avaient fondé la *Société des constructeurs* : MM. Flachat, Calla et Cavé. Celui-ci promit de créer pour un million de grand outillage si on lui donnait à construire, non une, mais quatre machines de frégates. On sait qu'il réussit, comme Hallette et le Creuzot, même avant les délais convenus. Cette époque et celle des commandes de locomotives, en 1846, sont celles du grand essor de la construction des machines en France. Bien qu'en 1844 on fût déjà loin de la fameuse pompe à feu de Chaillot, dont le monstrueux balancier de 6 poutres en chêne, armé de 37 ferrures, commandait des déclics formidables, il faut se souvenir de ce qu'étaient alors la plupart des travaux mécaniques pour apprécier les services rendus à l'industrie nationale par Cavé et ses contemporains.

Nous passerons en revue les principaux ouvrages de la maison Cavé. Une courte étude de l'établissement lui-même aura plus qu'un intérêt historique, car les principes de l'installation des usines en général s'en déduisent.

Bien que créé par additions successives, suivant les données locales, l'esprit qui y présidait avait tant de rectitude et d'intuition des besoins futurs, que cet établissement a été jusqu'à la fin d'une commodité remarquable, s'adaptant à toute sorte de travaux : l'éclairage, la salubrité, les dégagements, les dispositions pour faire la part du feu en cas d'incendie, n'ont jamais fait défaut. Tous les ateliers communiquant sans clôture respective, on avait l'inconvénient de la poussière, de la fumée et du bruit.

Il y a eu divers projets de cloisons; mais Cavé préférait cette vue d'ensemble, si propre à la surveillance et si grandiose, qui permettait à tous les ateliers de se prêter un mutuel concours.

En effet, dans son plan général, l'usine se composait d'une longue galerie, artère principale, d'où se détachaient transversalement les halles des magasins, montage et fonderie. Mais les forges étaient parallèles.

De cette galerie principale, la première moitié constituait l'atelier d'ajustage avec sa machinerie en rez-de-chaussée, surmontée d'un étage sous comble; le reste de la galerie était une sorte de carrefour commun à tous les services, qui y débordaient en cas de surcharge de travail et de pléthore accidentelle de leur propre halle.

On ne saurait croire de quelle utilité a été cette disposition si simple et si rare. Cavé l'appelait la clef de son usine: grâce à elle, il n'a presque jamais eu besoin de ces annexes et remaniements qui sont si dispendieux dans les exploitations industrielles.

Par la planche on voit que sur 10 000 mètres de terrain, dont 8 000 couverts de bâtiments en charpentes brutes et plâtras, on trouvait réunies toutes les branches de travail de la construction complète des machines, moins la chaudronnerie qui était dans le voisinage, à la Chapelle, sous la direction de M. Lemaître, beau-frère de Cavé, et le chantier des bateaux qui fut d'abord à la gare Saint-Ouen, puis à Asnières, dans un vaste parc, où devait être transporté un jour tout l'établissement.

En 1850 les forges s'y trouvaient déjà dans une halle longue de 200 mètres, et leur local au faubourg Saint-Denis avait été rendu libre pour augmenter l'outillage mécanique, qui laissait trop de travail aux ajusteurs à l'étau. Aujourd'hui cette substitution des machines-outils au travail manuel est poussée aussi loin que possible, à l'imitation des Anglais, quoique nous ne les égalions pas encore toujours dans le rendement de l'outil. Cavé était, par excellence, un improvisateur de solutions mécaniques, et personne mieux que lui n'a su venir en aide à l'ouvrier, non-seulement par des machines-outils proprement dites, mais par ces instruments de circonstance qui rendaient ses ateliers si curieux.

Cependant il craignait l'exagération d'outillage, non-seulement parce que celui-ci constitue un capital mort difficile à utiliser en tout temps; mais parce que souvent il ne fait plus de l'ouvrier lui-même qu'une machine dénuée de ressources à un moment voulu. Chez lui l'ouvrier conservait une personnalité, une indépendance et une initiative qui sembleraient aujourd'hui une impossibilité. Un plan réduit parfois à des lignes d'axe était remis à un maître-ajusteur; il s'adjoignait ses compagnons, choisissait une place disponible avec le contre-maître, tirait ses lignes et s'outillait comme il l'entendait; Cavé en passant improvisait avec lui les solutions cherchées. Souvent il se bornait à nous dire: « Allez prendre à la menui-

serie des morceaux de bois et faites un *bibelot* de démonstration jusqu'à ce que vous ayez *trouvé.* » Si on ne trouvait pas, on cédait la tâche à un plus ingénieux.

Mais dans cette maison où chacun s'aidait volontiers, où on travaillait à peu près en famille, la plupart trouvaient leur solution et devenaient ces hommes qui sont aujourd'hui contre-maîtres partout : en France, en Suisse, au Chili, en Chine, etc.

« J'ai fait beaucoup de machines, disait Cavé dans sa vieillesse, mais « j'ai fait encore plus d'ouvriers et d'ingénieurs. Il est vrai que je n'ai « pas gagné autant d'argent qu'avec les méthodes nouvelles. »

Comme il faut marcher avec son siècle, Cavé comprit en 1852 que ses établissements voulaient de nouveaux développements et une direction plus administrative. Une société d'actionnaires prit la place des quatre frères et beau-frère qui avaient tout conduit pendant vingt-cinq ans, aidés de trois comptables et quatre dessinateurs. Je n'ai pas à faire l'histoire de cette nouvelle administration, ni de la disparition des ateliers du faubourg Saint-Denis et de leurs annexes. Ce qui est resté en personnel, matériel et traditions, s'est reconstitué, suivant les données modernes, sous la direction de M. Claparède, à Saint-Denis, où existe maintenant un atelier de premier ordre.

Cavé ne lui resta pas étranger; mais le plus souvent il faisait de la mécanique agricole à son vaste domaine du Berry, quand il ne demeurait pas à son château de Condé, près Meaux. C'est là qu'ayant reçu pieusement les dernières consolations religieuses, il vient de terminer son existence si laborieuse et si honnête, à l'âge de 81 ans, ayant conservé jusqu'à la fin sa belle intelligence et presque sa santé. Ses deux frères, et Lemaître son beau-frère, l'avaient depuis longtemps précédé dans l'autre vie.

Sous des dehors très-simples, et même un peu rustiques, M. Cavé cachait une grande finesse, un étonnant bon sens, un excellent cœur et un grand esprit de droiture. Ami de ses contre-maîtres, qu'il tutoyait[1], paternel avec ses ouvriers, il n'a jamais eu avec eux que des relations faciles, qui font l'éloge des uns et des autres. Aux jours les plus tourmentés de 1848, aucun désordre n'a eu lieu à la maison Cavé ; et pendant qu'on se battait à sa porte, une compagnie de ses ouvriers gardait l'établissement et le patron, sans avoir eu plus de peine à protéger l'un que l'autre, tant, même au dehors, le *père Cavé* était un *type* aimé et vénéré.

1. Les contre-maîtres de la maison Cavé ont aussi laissé un nom parmi les mécaniciens : le forgeron Baptiste Chavigny, le fondeur Alexandre, le modeleur Mercier, les monteurs Dumont, Chateau, Vigne, le tourneur Gaudière, etc., ont trop contribué à la réputation de la maison, pour être omis dans cette Notice.

II

Cavé a fait des machines pour presque toutes les industries, depuis l'outillage des usines et des mines jusqu'aux locomotives et bateaux à vapeur ; depuis les machines-outils jusqu'aux grosses œuvres de chaudronnerie, y compris les navires. S'il avait une spécialité, c'était celle de la grosse machine en général et l'organisation des industries nouvelles. Homme éminemment inventif, c'est là surtout qu'il excellait.

En tête de toutes ses œuvres est la machine oscillante, qu'il a appliquée en toutes proportions et à tous usages, non sans opposition. Les Anglais, qui ne parlaient qu'avec dédain de la *machine française*, ont cependant fini par accepter le principe oscillant des mains de Joseph Penn, leur incomparable constructeur, qui l'a mis aussi bien dans les petits bateaux omnibus de la Tamise que dans le paquebot *Himalaya*. Le système oscillant s'est alors vulgarisé partout : en Suisse, en Allemagne, chez nos constructeurs du Havre. Quelle que soit l'admiration due au type de Penn, si réduit en poids et en volume, nous ne devons pas oublier le type oscillant de Cavé, qu'on retrouve en Belgique et en Amérique : témoin le paquebot célèbre *Adriatic*, dont la machine oscillant vis-à-vis à grande course ressemblait bien moins au type vertical de Penn qu'à celui de Cavé, qui était, au contraire, l'homme des mouvements à l'ampleur magistrale et des bâtis résistant aux vibrations par leurs masses. Une seule fois il consentit aux légers bâtis dans la quadruple machine oscillante, primitivement installée à bord de la frégate *l'Isly*. Il ne fut pas heureux, et il revint à un premier projet de machine fixe, directe et couchée, continuant partout autre part l'emploi de son type oscillant. Celui-ci se distinguait encore par ces guides embrassant la tige du piston et aidant à l'oscillation du cylindre, organe rationnel qu'il a cependant presque seul adopté.

Quant à la distribution de vapeur, elle s'est opérée longtemps par un disque tournant dans une boîte près de l'un des tourillons d'oscillation et ne servant qu'à l'introduction pendant une fraction de la course : c'était un introducteur à détente. L'émission s'opérait par d'autres valves, suivant la règle que Cavé s'était faite de toujours isoler respectivement l'entrée et la sortie de la vapeur. Les données actuelles sur l'*avance*, le *recouvrement*, la *compensation dans les espaces nuisibles*, furent également des principes par lui admis dès l'origine. Plus tard, dans les grandes machines, le système oscillant a eu des tiroirs sur l'*orifice même* sans conduits intermédiaires, des excentriques et une coulisse de détente variable automatiquement par le jeu du pendule à boules. Le mé-

canisme se compliquait, il est vrai, de bielles et tiges, mais rationnelles, et, par leur rusticité même, très-propres aux forges et autres industries à travail brutal. Beaucoup de ces machines, vieilles de quarante ans, travaillent encore comme au premier jour : il en est d'elles, disait récemment un maître de forge, comme des femmes honnêtes, dont on fait l'éloge en disant qu'on n'entend jamais parler d'elles.

Après la machine à vapeur en général, nous trouvons parmi les œuvres de Cavé les locomotives; il en a exécuté sept types de 1837 à 1855, prenant plus ou moins de part à l'étude elle-même avec les maîtres de l'industrie des chemins de fer. (Voir la planche.)

Le n° 1 est la *Gauloise*, œuvre proprement dite de Cavé pour le chemin de fer de Versailles, en 1837, remplie de dispositions originales dont deux au moins sont restées : savoir, la tringle extérieure du régulateur et les plates-formes latérales avec main courante pour visiter le mécanisme en marche.

Le n° 2, dit de *Clapeyron*, au chemin de fer du Nord, en 1845, existe encore tel qu'il est sorti d'atelier, avec son foyer pyramidal alors à la mode, ses cylindres extérieurs et son double bâtis du type Buddicom.

Le n° 3, dit d'*Edwards*, au chemin de fer de Strasbourg, en 1848, a été remarquable par sa franchise d'allure, sa puissance relative de traction et sa consommation réduite valant de si belles primes d'économies aux mécaniciens, que l'une d'elles avait été par eux surnommée la *mine d'or*. On l'attribuait à la perfection de la distribution, que Cavé jeune avait la spécialité de régler; ce qu'il faisait avec une sûreté de main qu'il ne s'expliquait pas à lui-même.

Le type n° 4, également du chemin de fer de l'Est, variété dite de *Forquenot*, a été l'expression complète de la locomotive telle que l'entendait Cavé, pour trains express en brûlant des cokes médiocres.

Le type n° 5, à cylindres inclinés sur les flancs de la boîte à fumée, type de machines à marchandises à 6 roues couplées, au chemin de fer d'Orléans, a été un tribut payé à une mode du temps.

Le n° 6, du chemin de fer de l'Ouest, a été une des œuvres les mieux réussies de la maison Cavé.

Enfin le type 7, dit de *Tourneux*, étudié en détail par M. Albaret, a été fait pour les trains express de la ligne de Blesmes à Chaumont dans un moment de réaction contre la locomotive Crampton.

Les œuvres pour la navigation maritime et fluviale ont été une des spécialités de Cavé, créateur, avec M. Cochot, de cette industrie sur la Seine. Les vieux mariniers se rappellent le *Casimir*, l'*Aaron-Mamby*, le *Commerce* et l'*Hirondelle*, premiers bateaux en fer, longues caisses anguleuses faites à Charenton. Cavé y mit des machines oscillantes en remplacement des moteurs primitifs. Puis vinrent une multitude de bateaux et navires dont il fit au moins les machines quand il ne faisait pas aussi les coques : le *Théodore* et la *Ville-de-Corbeil*, sur la haute Seine; les *Do-*

rades, allant à Rouen ; le *Zampa*, les *Elbeuviens;* les *Aigles*, l'*Overtolz*, le *Leinheit* et le *Kraft* sur le Rhin; les bateaux des lacs de Thun et de Neufchâtel en Suisse ; ceux du Sénégal et de la Martinique; enfin les *bateaux jumeaux* avec une seule roue entre-deux qui sont encore à Rouen.

Dans tous ces bâtiments, la machine est oscillante à très-haute pression (7 atm.), souvent sans condensation; les cylindres à grande course, inclinés tantôt vis-à-vis sur un bâtis en V renversé, tantôt parallèlement sur un bâtis en équerre accolé à chaque bord de la coque. Quelquefois la machine est quadruple, et les deux roues à aubes qu'elles actionnent sont indépendantes avec pales articulées. D'où l'on voit qu'il n'y a presque pas un progrès dans la navigation, depuis la haute pression jusqu'aux hélices, qui n'ait été couramment appliqué par Cavé à date ancienne.

Arrêtons notre attention sur les Dorades, qu'on peut considérer comme le type des bateaux de rivières sinueuses et peu profondes.

Par la planche, on voit que la coque ne ressemble pas à celles en couteau tranchant qu'on voit aujourd'hui, et que sa forme était celle d'une olive[1] glissant dans l'eau d'après les lois non du coin, mais de la sphère. Sans entrer dans la théorie, les Dorades manifestaient un fait : c'est qu'avec une force de 40 chevaux elles égalaient presque en vitesse des concurrents à peu près de même taille, pourvus de machines de 70 chevaux et exécutés d'ailleurs avec une grande perfection.

Il y aurait beaucoup à étudier sur cette question, car on ne peut pas considérer comme une solution pratique ces forces de plus de 100 chevaux par mètre de section immergée données à des bateaux de rivière pour gagner une vitesse de quelques minutes par myriamètre. Cela tient en partie aux pertes de temps pour évoluer dans un chenal sinueux. A cet égard, les Dorades de Cavé sont encore un type : elles évoluaient avec une grande facilité par l'effet tant de leur forme que du gouvernail équilibré qu'elles eurent longtemps avant les bateaux du Rhône, où il reste classique. La navigation régulière et rapide de la basse Seine a été certainement une des plus belles solutions de problème mécanique. Il y avait en été à peine 70 centimètres de tirant d'eau. Le pont de Vernon se franchissait à la touée et la poupe en avant, après avoir viré de bord. L'arche marinière de Meulan s'appelait la Passe du diable. Aucun signal n'existait sur les bas-fonds, et en temps de brume on attendait en panne, sauf à arriver le lendemain au Pecq ou à Rouen, qui étaient les points extrêmes des trois bateaux partant chaque jour, jusqu'à l'ouverture du chemin de fer, lequel a laissé à peine le souvenir de cette curieuse et pittoresque navigation.

En marine proprement dite, Cavé a d'abord eu, en 1824, un bateau

1. Cette forme d'olive, à façons renflées, était presque traditionnelle alors sur les rivières françaises, dont la navigation mériterait son histoire, témoin la vieille *Ville-de-Sens* et le *Parisien* sur la Seine. Il y en avait aussi des spécimens sur la Saône.

qui a fait événement : c'est le *Courrier* de Calais à Douvres, coque du père Normand, pourvue non-seulement de machines oscillantes à haute pression, mais aussi, et pour la première fois, de roues à pales articulées s'effaçant en remontant pour ne pas relever l'eau. Ce bateau, qui filait 13 nœuds, vitesse alors inouïe, fit plus que sensation en Angleterre, où on est si jaloux de la marine. Ce fut le point de départ du grand mouvement de transformation et de progrès qu'il y eut alors.

Néanmoins le succès éclatant du *Courrier* ne décida pas le gouvernement français à renoncer aux constructeurs anglais, jusqu'au jour où furent commandés, tant à Cavé qu'à d'autres, les frégates de 450 chevaux de l'année 1843.

Parmi les divers projets, ce fut celui du Creuzot qu'on adopta, et Cavé exécuta, pour cette seule fois, quatre grandes machines à basse pression, type de Watt, à balanciers latéraux, avec bâtis gothiques en fonte[1].

Mais il reprit, dans des corvettes, avisos et ses nombreux remorqueurs, son type oscillant, qui fit jeter d'abord les hauts cris et qui a fait ses preuves.

Vinrent ensuite les machines à hélice à quadruples cylindres fixes couchés sous la flottaison. L'une d'elles a été célèbre dans la maison Cavé : c'est celle du *Chaptal*, corvette dont il fit aussi la coque. On la lança à Asnières, devant la foule des Parisiens stupéfaits de voir mettre à l'eau un bâtiment de guerre de 1000 tonneaux. Mais on fit d'abord l'assemblage des membrures et du bordage en tôle à l'atelier du faubourg Saint-Denis ; il eut lieu dans cette partie qui continue la galerie d'ajustage, le pont étant renversé sur le sol et la quille en l'air. Chez Cavé, on pratiquait toujours ainsi ; bien plus, les dorades, les aigles et autres coques légères furent assemblées au deuxième étage au-dessus de l'atelier des machines-outils, avant d'être transportées pièce par pièce au chantier de lancement, où on refaisait alors l'assemblage en la manière ordinaire, en commençant par les tôles du fond, sur lesquelles on posait les couples.

Il ne faut considérer que comme appareil d'essai et d'étude la machine de l'aviso *la Biche* à cylindres inclinés fixes et renversés vis-à-vis, qui fonctionnait à 10 atmosphères de pression, avec chaudières du système Belleville et des appareils distillant l'eau, qui ont été peut-être les premiers condenseurs à surface dans la marine. Ces études ont du moins fait conclure à l'applicabilité des hautes pressions dans les navires, comme le demanda Cavé dès l'origine, comme il l'appliqua lui-même en 1824 dans le *Courrier de Calais*, puis dans les Dorades et autres.

Dans le même ordre d'idées il a été fait à la maison Cavé deux véritables locomotives accompagnées de condenseurs à surface proprement dits, installées sur les navires à hélice *Ville-de-Nantes* et *Ville-de-Bordeaux*,

1. MM. Forquenot et Delpech, alors dessinateurs chez Cavé, sont ceux qui ont étudié en détail et dirigé cette affaire des machines de 450 chevaux, qui tient une si grande place dans l'histoire de l'industrie française.

étudiés par Claparède, ainsi qu'une multitude de chalands à hélice, qui naviguent encore du Havre à Paris par les canaux.

Dans la spécialité des machines-outils, Cavé n'a pas seulement créé tout le matériel de ses établissements; il a construit pour un grand nombre d'usines des instruments caractérisés en général par leur grande puissance et l'application directe de la vapeur, tels que presses, découpoirs, emboutisseurs et marteaux-pilons. L'invention de ce dernier a été disputée: taut il est vrai que si une innovation devançant son temps est souvent méconnue, la même idée vient partout à la fois quand elle est mûre. Si Cavé n'est pas l'inventeur du pilon, il a du moins grandement contribué à le vulgariser. Celui de ses ateliers était très-ancien. Antérieurement on s'y servait d'un marteau à levier avec poutre de renvoi en façon de ressort, le tout installé dans une immense charpente. Dans le principe, 24 hommes faisaient tourner l'arbre à cames de soulèvement. On les remplaça ensuite par une machine oscillante de 16 chevaux. Puis on installa divers marteaux du même genre, dont le principal, pourvu d'un moteur de 40 chevaux, a fabriqué des arbres de 20 tonnes.

La forge de Cavé était réputée. Son vieux contre-maître Baptiste Chavigny, après avoir été le camarade de sa jeunesse, ne l'a jamais quitté, et est mort, il y a quelques années, auprès de lui au château de Condé. C'est encore un de ces *hommes-types* qu'on aime à retrouver dans ses vieux souvenirs, un homme doué de belles facultés, et qui aurait pu se faire brillamment connaître, mais qui aimait son obscurité, se moquait en 1848 de ses compagnons devenus hommes politiques, et disait à ceux qui le pressaient d'être aux fameuses séances du Luxembourg le délégué de la maison Cavé, qu'il était plus utile à la République en faisant de bonnes pièces de forge. Cavé et Chavigny avaient le génie de la pièce de forge venue d'un seul bloc sans soudures. (Ils avaient horreur des soudures.) *Leurs tours de force* ne doivent être loués qu'avec réserve : car, en cas d'avarie loin des ateliers, on peut être hors d'état de faire les réparations; mais ils prouvaient du moins d'autant plus d'habileté, qu'on n'y employait qu'un outillage très-primitif, et qu'on restait dans des prix relativement modérés. L'arbre à huit coudes du *Chaptal*, en fer au bois du Berry, a coûté 3 francs le kilogramme, ajustage compris. Les essieux coudés de locomotives étirés sans torsion coûtaient 2 francs.

La fonderie[1] de Cavé excellait aussi, sinon par les formes extérieures

1. La fonderie avait aussi un contre-maître, Alexandre, d'un grand talent; et le fait suivant fera juger de l'homme : En coulant à découvert une plaque à glace de 12 000 kilog., la maladresse d'un ouvrier causa un faux mouvement et le renversement de toute la fonte, au milieu des 40 ouvriers, dont 14 furent brûlés. Au milieu de cette scène affreuse, debout sur un bloc, entouré d'un lac de fonte liquide, Alexandre donna jusqu'à la fin ses ordres, avec tant de calme que personne ne se doutait qu'il fût blessé. Quand tout fut fini et quand il put quitter son poste à l'aide d'un pont qu'on lui jeta, ce fut avec le même calme qu'il dit : « Personne n'a plus besoin de moi? eh bien, je vais aussi me faire panser. » Alors seulement on vit qu'il était affreusement brûlé, à ce point que sa vie fut six mois en danger.

souvent assez frustes, du moins par la qualité du métal très-raide, sans aigreur, prenant un magnifique poli et résultant du mélange de diverses fontes choisies avec tact, et traitées avec un tour de main dont la sûreté étonnait Cavé lui-même.

Son ajustage n'avait pas la précision d'aujourd'hui, mais il faisait singulièrement solide et durable. Croyant tous ses collaborateurs doués de son merveilleux coup d'œil, les gabarits étaient peu connus chez lui, et même il aimait aussi peu les plans que les formules. Par contre, il était fort indulgent pour ces erreurs qu'en terme d'atelier on appelle des *loups*. Il prétendait qu'ils constituent les meilleures leçons qu'on puisse recevoir, et sans grand souci on les réparait, car on ne livrait dans la maison Cavé qu'avec une parfaite loyauté acquise à sa mémoire.

A l'époque de Cavé la spécialisation exclusive des machines-outils était encore peu permise ; il avait des fabrications spéciales comme son découpage et dressage d'écrous au nombre de 10 à la fois, mais il faisait autant que possible des outils à toutes fins. Citons parmi les plus curieux :

1° La riveuse de chaudières qui perçait le trou dans la tôle, appuyant les deux pièces l'une sur l'autre, et faisait enfin la rivure sans qu'il y ait ensuite besoin d'achever au matoir;

2° L'alézoir vertical, au bâtis monumental orné de quatre griffons, qui par un simple embrayage se convertissait en machine à mortaiser et permettait de façonner en tous sens une grosse pièce;

3° La perceuse radiale, la première peut-être, et en tout cas l'une des plus belles qu'on connaisse;

4° La raboteuse à outils mobiles, avec ce mouvement caractéristique de courroie sans fin que Cavé appliquait de toute manière. La principale raboteuse, longue de 13 mètres sur 3 mètres de large, avait huit couteaux pouvant travailler en groupes indépendants, et elle portait un alézoir ambulant, en sorte qu'on peut y voir l'ancêtre de la machine de Beyer, dite à faire les longerons, qui, depuis l'Exposition universelle, s'est répandue dans les ateliers de chemins de fer.

Là où Cavé excellait, c'est dans l'improvisation des outils de circonstance, à l'aide des matériaux qu'il avait sous la main. Avec des charpentes et ferrures sans emploi, il fit en quelques jours un des plus puissants alézoirs qui ait existé, et un appareil à cintrer à froid les longues tôles des portes-écluses de la Monnaie à Paris, qui sont une de ses plus originales créations.

Suit un état de ses principales œuvres en différents genres.

Machine à vapeur d'épuisements ou extraction de mines, pompes élévatoires d'eau dans les villes, outillage et machines motrices des forges à Commentry, Vierzon, Montluçon, Montataire, Athis, Ars, La Caillaudière, ainsi qu'aux établissements de M. de Vendel et du Pas-de-Calais.

Souffleries de hauts-fourneaux, les unes verticales et monumentales

comme celles de Vierzon et de Commentry, les autres horizontales avec clapets d'air consistant en bandes de cuir sur des plaques trouées comme les plaques tubulaires de locomotives.

Machines à faire les agglomérés de houilles et les briques en 1850.

Matériel des barrages du Nil, de la plomberie de Saint-Denis, de la poudrerie du Pérou et de la Monnaie du Chili, y compris des grands creusets en fer forgé de fabrication très-curieuse[1].

Grues de grande puissance pour les ports et les dépôts de chemins de fer, avec flèche en deux uniques tôles embouties, système de Cavé aujourd'hui vulgarisé.

Dragues et bateaux plongeurs pour travailler à six mètres au fond des rivières. Les unes ont été l'âme des travaux du barrage du Nil, d'autres continuent à travailler sur la Seine aux fondations de ponts, et elles ont fait une partie de la fortune de Cavé jeune, qui les avait étudiées et qui les exploitait.

Tympan épuiseur d'eau fait pour les épuisements du barrage de la Marne en 1839.

Série de puissants moulins à pouzzolane.

Presses hydrauliques produisant un effort de 1 million de kilog.

Outillages divers fournis à Indret, à Cherbourg, en Égypte, à la Martinique, à Pondichéry, etc.

Voiture à pédale, sorte de vélocipède qui a circulé de Paris à Saint-Denis, en 1845.

Bateau sous-marin, sorte de poisson à queue et à nageoires, lequel a servi plusieurs années à des expériences en rade.

Perforateur à air comprimé pour mines et carrières, remontant à 1851. A l'époque du percement du Mont-Cenis, Cavé, invité par ses amis à présenter son instrument beaucoup plus simple que celui qui existe, répondit qu'il était trop vieux pour venir faire concurrence aux concessionnaires du tunnel. (Son instrument sert encore dans une carrière en Berry.)

A ces appareils si variés et si nombreux, ajoutons 70 steamers et une centaine de locomotives, et parmi les petits appareils, le salinomètre des chaudières marines.

Enfin voici des travaux de Cavé qui ont eu un caractère éminemment scientifique :

1° Étude comparative sur les chaudières à vapeur durant plusieurs années. Elles avaient conduit M. Cavé à préférer dans les usines les chaudières composées d'un unique corps cylindrique sur un seul conduit de flamme, long de 10 mètres, avec addition d'un tube réchauffeur d'eau.

2° Expérience sur la torsion des arbres en fer et en acier pour les

1. Voir la description au Bulletin de la Société d'encouragement, année 1852.

transmissions dans les fabriques et dans les steamers à hélice. Travail perdu ayant eu pour conclusion des règles positives sur la torsion des métaux.

3° Expériences de 1843 sur les hélices de toutes formes et de toutes conditions, à l'aide d'un bateau de 30 chevaux sur la Seine. Ces travaux, faits avec le concours de l'amiral Labrousse et autres officiers de marine, ont conclu à un ensemble de lois trop étendues pour trouver place ici[1].

En présence de ces immenses travaux dont la liste n'est pas complète et qui n'ont pas rempli plus de vingt-cinq années, est-il téméraire de répéter que Cavé a été le *Stephenson français*, et que son pays doit religieusement conserver sa mémoire comme celle de Jacquard, Vaucanson, Montgolfier, Lebon, Richard Lenoir, etc.?

Son mérite est d'autant plus grand qu'il n'a jamais eu que lui-même pour le recommander et l'appuyer; timide, sans fortune, dédaigné de ceux qui ne voyaient en lui qu'un ouvrier, modeste à ce point, qu'ayant travaillé pour des gouvernements étrangers, il n'a jamais eu d'autres distinctions que sa croix de chevalier de la Légion d'honneur qu'il a obtenue à la suite de l'Exposition de 1834.

Il est de ceux dont les succès étonnent, mais consolent et encouragent en même temps.

1. Voir *Traité des Machines à vapeur* de M. J. Gaudry, 2e volume.

ANALYSE

de l'Ouvrage de M. Molinos

SUR LA

NAVIGATION INTÉRIEURE DE LA FRANCE

PAR M. **LOUIS RICHARD**.

M. Molinos vient de publier et d'offrir à la Société un ouvrage traitant de la Navigation intérieure de la France.

Je me suis chargé de vous rendre compte de cet ouvrage, parce que j'y étais engagé par son titre, par le nom de son auteur, qui promettait une lecture intéressante, et par les liens d'amitié qui m'unissent à notre savant collègue. J'ai été bien inspiré en me livrant à cette étude : car il est difficile de lire un livre plus clair, dont les tendances soient plus sages et mieux raisonnées que celles qui font l'objet du livre de M. Molinos. C'est la vérité prise sur le fait, sincèrement et loyalement dite, et tellement sincèrement dite, que je ne pense pas qu'il puisse se trouver un Ingénieur, même d'une grande Compagnie de chemin de fer luttant contre la navigation, qui ne rende hommage à l'importance du travail de notre ancien Président.

Vous allez en juger vous-mêmes.

Le chapitre 1er traite de l'état actuel de la navigation intérieure en France et des modifications à apporter au réseau des voies navigables.

Après avoir remarqué, en débutant, que la France est, au point de vue de la richesse de ses bassins hydrographiques, de leur importance, de la facilité de leurs communications réciproques, *le pays le plus favorisé de l'Europe;* après avoir donné les origines et le développement de la navigation intérieure en France, et les causes naturelles de ce développement depuis François Ier jusqu'à nos jours, M. Molinos établit le tableau vrai, et en même temps lamentable, de l'emploi qui a été fait de ces richesses qui nous ont été données par la nature. Les projets du canal de Bourgogne, joignant le bassin de la Seine à la Saône ;

Du canal de Briare, qui fait époque dans l'histoire de la navigation, parce qu'il fut le premier canal à point de partage ;

Du canal du Midi, destiné à faire la jonction des deux mers ;

Du canal de Saint-Quentin, qui réunit les bassins de l'Escaut, de la Sambre, de la Somme et de l'Oise, mis en avant et terminés à grand renfort de difficultés et de temps, furent les premiers travaux destinés à compléter notre appareil hydraulique.

La Restauration, la Monarchie de Juillet et l'Empire firent faire de nouveaux progrès. Mais la création des chemins de fer et l'application de toutes les ressources de l'industrie privée à ces nouveaux moyens de transports rapides portèrent un coup fatal à la navigation.

Le trafic entre Paris et Lyon, par le canal de Bourgogne, tomba de 220,000 tonnes à 125,000 tonnes au parcours total.

Celui de la basse Seine, du Havre à Paris, descendit, en 1849, de 431,000 tonnes à 105,000 tonnes.

Celui de la Loire, n'ayant pour auxiliaires que les canaux du Centre, du Loing, de Briare et du Nivernais, d'échantillon trop faible ou mal alimentés, fut également à peu près détruit.

Seul, celui du Nord, mieux outillé, résista et conserva son importance à côté de son redoutable concurrent, tant était nombreuse et féconde la matière transportable.

Il semblerait donc, en présence de la décadence presque universelle de la batellerie, qu'il faudrait l'abandonner à son malheureux sort, et donner tout aux chemins de fer, qui résolvent le double problème du transport des marchandises et des voyageurs par les moyens rapides.

M. Molinos s'élève avec force contre cette conclusion erronée ; il entreprend l'étude des moyens de sauver la navigation, qui, nous l'avons dit, peut et doit rendre de grands services à la France.

Il commence son étude par rechercher quelles sont les causes d'infériorité de la navigation, et il les trouve dans les conditions techniques d'établissement du réseau de nos voies navigables.

En effet, après avoir dressé les tableaux très-instructifs qui donnent la totalité des voies navigables en France, sans distinction, et le trafic des principales voies navigables, afin d'établir le degré d'importance de chacune, M. Molinos aborde la discussion des conditions d'établissement de nos voies navigables.

Le fait qui domine et frappe tout d'abord, c'est que chacune de nos voies navigables, rivières canalisées ou canaux, a été établie sur un type spécial qui n'a aucun rapport avec les autres. On trouve partout, même sur un groupe de canaux en correspondance, tels que ceux du Nord, qui, partant de Mons, aboutissent à la Seine à Conflans, plusieurs types d'écluses de longueur, de largeur et de mouillage différents : de telle sorte qu'il faut se résoudre ou à adopter le type de bateaux pouvant passer dans l'écluse minimum et dans les mouillages les moins profonds,

ou à subir des transbordements qui grèvent tellement la marchandise qu'elle quitte la navigation.

Tel est l'état de notre grande voie navigable, qui devrait relier notre frontière du Nord et les départements si industrieux qui la bordent, le Havre et Paris, avec Lyon, Marseille et la Méditerranée.

Cette triste situation se retrouve dans toute la France, de Paris vers le Rhin, dans le Centre et tout le long de la Loire.

Vous en lirez, Messieurs, les détails aux pages 30-43.

La conséquence de cet état de choses est des plus graves. On voit en effet qu'en laissant de côté la majeure partie de nos voies navigables, sur lesquelles il est impossible d'effectuer des voyages réguliers, avec des tonnages importants, permettant d'offrir au commerce des prix avantageux, la batellerie ne peut utiliser le reste dans des conditions convenables que pour des transports à faible parcours. M. Molinos est ensuite conduit à établir que, cependant, c'est pour les grandes distances que la navigation présente de grands avantages.

On l'admet facilement pour les prix de transport, qui restent tout en faveur de la navigation; mais le problème paraît douteux au point de vue de la rapidité du parcours.

Dès lors, comme il est permis de croire qu'avec un système de navigation bien combiné, bien organisé, surtout non interrompu, on arrivera à des délais de transport qui ne seraient pas bien différents de ceux que prennent les chemins de fer pour les transports en petite vitesse, M. Molinos en arrive à conclure que, dans le cas d'une concurrence sérieuse de la batellerie, nos chemins de fer seraient obligés d'entrer dans la voie des transports rapides actuellement employée en Angleterre. Ce serait là un grand bienfait des développements de la navigation, en plus de ceux que l'industrie recueillerait directement par l'abaissement du prix des matières premières.

M. Molinos a donc établi, par les considérations qui précèdent, et qui sont savamment développées dans son livre, la nécessité d'adopter un type uniforme d'écluses et de tirant d'eau.

Quel sera ce type et quelle sera son influence sur le prix de revient de la tonne kilomètrique transportée? Le choix de ce type devrait conduire à des dimensions d'écluses très-considérables, et par suite à des bateaux de fort tonnage, pour réduire au minimum le prix du fret; les chemins de fer ont suivi une marche progressive analogue, en augmentant, en raison des besoins sans cesse croissants, la puissance de locomotion et le poids des trains. C'est une proposition à peu près mathématiquement exacte que le prix du fret est en raison inverse du tonnage des bateaux.

M. Molinos la démontre d'ailleurs par des chiffres saisissants, qui prouvent que le bateau de 500 tonnes aurait tous les avantages de navigation de la péniche de 260 tonnes, et procurerait une économie de

2 francs par tonne, de Mons à Paris, sur le prix moyen de 6f,50 payé aux péniches de 260 tonnes. C'est que dans la dépense de 1677f,95, représentant la dépense totale d'une péniche de 260 tonnes pour un voyage de Mons à la Villette, il y a, en dehors des droits de navigation, représentant 413f,95; de touage et de pilotage, représentant 190f,20, il y a un reliquat de tous frais qui montent ensemble à 1,073f,80, et qui sont fixes et indépendants du tonnage.

Dès lors, si l'on applique l'économie de 2 francs par tonne aux 1,500,000 à 1,600,000 tonnes que l'Oise et la Seine transportent par année normale, on trouve que le commerce de Paris réaliserait une économie de 3 millions par an par le fait de la substitution du bateau de 500 tonnes à la péniche de 260 tonnes.

En présence de ce fait capital, M. Molinos peut conclure avec raison qu'il faudrait adopter pour tout le réseau navigable le bateau de 500 tonnes et les dimensions d'écluses correspondantes.

Mais il fait remarquer sagement que, pour arriver à un résultat déjà très-difficile à obtenir, il vaut mieux restreindre la question que l'élargir. Des préjugés, des objections plus ou moins intéressées et surtout des considérations financières obligent à des vues plus modestes.

M. Molinos propose donc de s'arrêter aujourd'hui à la solution suivante, qui permettra d'obtenir un très-grand résultat avec de faibles dépenses :

Adopter comme type la péniche flamande de 280 tonnes, qui conduit à l'écluse de 42 mètres de longueur sur 5m,20 de largeur, avec un tirant d'eau effectif de 1m,80. On peut, sans dépenser beaucoup, ramener à ce type une notable partie de nos voies navigables.

Il y aura des exceptions inévitables à l'application de ce type uniforme: elles se produiront sur le Rhône et sur la Loire.

Ces deux grands fleuves sont aujourd'hui à peu près impropres à la navigation, et devraient être, au contraire, les deux sources les plus fécondes de l'activité de notre batellerie.

Or, pour la Loire, si l'on considère comme aléatoire, ce que je n'admets pas sans faire des réserves, d'essayer l'amélioration de son lit, il est relativement facile de rétablir la navigation du fleuve, soit par des dérivations partielles, avec barrages dans le fleuve, soit par un canal continu.

M. l'ingénieur Krantz a proposé à la Chambre, en 1873, des projets destinés à améliorer la navigation de la Loire: il est donc permis d'espérer que, dans un temps donné, cette navigation pourra être ramenée aux conditions générales du réseau.

Pour le Rhône, au contraire, fait remarquer M. Molinos, il est permis d'espérer, d'après les travaux imparfaits qui ont été entrepris pour l'amélioration du lit lui-même, que l'on doit obtenir un succès relatif

de ces travaux mieux combinés. On peut juger de l'importance et du degré d'infériorité actuelle de ce grand fleuve de 546 kilomètres de longueur, se jetant dans la Méditerranée, par les chiffres suivants :

Avant la construction des chemins de fer de la Méditerranée, le trafic du Rhône s'élevait à plus de 600,000 tonnes au parcours entier d'Arles à Lyon; en 1853, de Lyon à l'embouchure de la Drôme, il atteignait 1,027,000 tonnes; il est tombé aujourd'hui à 275,000 tonnes.

Il faut donc faire disparaître par des travaux convenables les causes qui arrêtent la navigation du Rhône.

Pour arriver à ce résultat, M. Krantz propose un canal latéral, dont il estime la dépense d'exécution à 90 millions.

M. Molinos élève, avec raison, je crois, des doutes sur cette estimation que certains Ingénieurs portent à 200 millions et sur le résultat final de l'exécution d'un canal qui ferait peser sur la navigation les lourdes charges provenant d'un capital d'établissement considérable, que l'État n'est pas en situation de fournir de longtemps, et qu'il faudrait par conséquent emprunter, à lourds intérêts, à l'industrie privée.

M. Molinos revient donc à l'idée d'amélioration de ce fleuve.

Aujourd'hui, à l'étiage, le Rhône a un mouillage tout à fait insuffisant de 0,70, et pendant six mois de l'année même la navigation est tout à fait arrêtée. Or M. Molinos démontrera qu'en supposant le Rhône porté à un minimum de tirant d'eau de 1m,10 seulement, il sera possible d'obtenir le prix de revient de 0,02 à 0,022 au plus par tonne, tous droits compris, c'est-à-dire d'avoir pour la navigation l'avantage sur le chemin de fer.

Les Ingénieurs expérimentés qui sont à la tête des travaux d'amélioration du lit du Rhône estiment même qu'avec une dépense de 35 millions on obtiendra un mouillage de 1m,60.

M. Molinos, admettant que l'exploitation sur ce fleuve devra se faire d'une manière exceptionnelle, à l'aide d'un matériel spécial appliqué à son tirant d'eau, à la rapidité de son courant, comme aussi à la largeur exceptionnelle de son chenal, prouvera que la navigation peut prospérer et se développer avec un minimum assuré de tirant d'eau de 1m,20. Il n'y a donc qu'à poursuivre activement l'exécution des projets des Ingénieurs qui promettent, en bonne connaissance de cause, un minimum de 1m,60.

Dans le chapitre II de son livre, M. Molinos suppose les voies navigables ramenées à un type uniforme, c'est-à-dire les canaux ayant tous des écluses de 42 mètres de longueur sur 5m,20 de largeur et un tirant d'eau minimum de 1m,80; les rivières ayant de grandes écluses de 133 mètres de longueur sur 12 de largeur, permettant par conséquent la navigation par trains; et il recherche quel est le meilleur système

d'exploitation des rivières et des canaux pour obtenir le meilleur prix de revient de la tonne kilométrique transportée.

Les conditions d'exploitation n'étant plus les mêmes sur les rivières à courants et sur les canaux, il y a lieu de rechercher dans les deux cas quel sera le meilleur système.

En ce qui concerne les canaux, M. Molinos fait la comparaison entre le système de traction par chevaux, aujourd'hui employé, et de traction par la vapeur, et il arrive à conclure en faveur du halage par chevaux. La raison de cette conclusion, c'est que la force nécessaire à la traction d'un bateau dont la vitesse, supposée accélérée, atteindra 3 kilomètres, est extrêmement faible, et que la substitution des machines aux moteurs animés ne se fait avec avantage que lorsqu'il s'agit d'un travail d'une certaine importance. Sur ce point, l'expérience est d'accord avec le raisonnement.

On a également essayé d'appliquer aux canaux le touage sur chaîne noyée, par une machine portée sur le bateau, les machines routières et les locomobiles sur rails. Mais les études minutieuses entreprises sur ces différents procédés de traction ont conduit à conclure que le prix de revient de la traction de la tonne kilométrique était plus élevé que par les chevaux, et que le peu de vitesse gagnée, inutilement d'ailleurs, n'était pas compensée par l'augmentation des dépenses. Aucun de ces procédés ne peut avoir d'application fructueuse que si les biefs à parcourir étaient d'une grande longueur.

M. Molinos conclut donc avec raison que le halage par chevaux doit avoir, sur les canaux, toute préférence. Seulement il demande que ce halage soit organisé par relais obligatoires pour le marinier, concédés par adjudication, et qu'on réserve d'ailleurs toute liberté pour les essais de halage à vapeur de toute nature qui pourraient être tentés.

Le problème de la traction en rivière se présente d'une manière plus complexe, et les données varient évidemment suivant le sens dans lequel se fait le trafic le plus important, à cause du courant.

De plus, la longueur des biefs et les dimensions des écluses permettent la navigation par trains. On voit donc apparaître avec avantage les moteurs à vapeur, et il n'y a plus qu'à choisir entre les deux systèmes de remorquage qui se sont seuls soutenus jusqu'à présent : les remorqueurs à aubes ou à hélice et le touage.

Or les meilleurs remorqueurs à aubes ou à hélice n'atteignent, dans les conditions les plus favorables, que 0,60 de rendement, tandis que le rendement moyen du touage sur la basse Seine est d'environ 80 °/₀ du travail développé sur l'arbre moteur.

M. Molinos fait remarquer en outre que le remorqueur à aubes ou à hélice a encore des causes d'infériorité plus sensibles, car il prend son point d'appui sur l'eau : il s'ensuit donc que si l'on appelle V sa vitesse et V' celle de l'eau, il ne peut vaincre une résistance donnée qu'à la

vitesse relative $V+V'$; dès lors, si la vitesse du courant vient à augmenter, et par suite la résistance que le remorqueur rencontre, il est obligé d'accroître la vitesse de ses aubes ou de son hélice et de diminuer en même temps son rendement, c'est-à-dire que l'appareil devient moins bon au moment où il aurait besoin d'être meilleur.

M. Molinos établit facilement par le calcul que, pour une égale vitesse à la remonte et un courant donné, le travail dépensé par le remorqueur sera double de celui exigé par le toueur.

Il suit de là que si le remorqueur est utilisable dans d'assez bonnes conditions avec un courant faible, il ne peut plus lutter contre le touage dès que le courant devient rapide.

L'expérience confirme du reste chaque jour ce résultat du calcul.

Après avoir traité ce point général de la traction sur les rivières, M. Molinos se demande quel sera le système à adopter sur le Rhône, qui, comme nous l'avons vu, doit présenter pendant longtemps encore une exception inévitable dans le réseau de navigation devenu uniforme.

Il établit que le remorquage par remorqueur à aubes coûte d'Arles à Lyon environ 0,04 par tonne et par kilomètre. Ces tarifs ne peuvent supporter la concurrence de ceux du chemin de fer. Le remorquage par les bateaux-grappin ne donne pas de meilleurs résultats; il coûte encore environ 0,046 par tonne et par kilomètre. Ce n'est donc pas encore dans ce système qu'il faut chercher la solution définitive.

Peut-on songer à faire sur le Rhône la navigation par trains au moyen du touage? Non : car on ne pourrait pas, même en admettant que le mouillage du fleuve soit porté au minimum de $1^m,20$, et que le tirant d'eau réel des bateaux atteigne ce dernier chiffre, employer la péniche flamande venant des canaux du Nord aux transports du Rhône; le chargement en serait réduit de moitié et le prix de revient de la tonne kilométrique deviendrait beaucoup trop élevé.

L'obligation d'un transbordement à Lyon s'impose donc forcément.

Dès lors on est tenu de choisir le système spécial au Rhône qui sera le plus avantageux.

M. Molinos, se fondant sur ce que les améliorations successives du Rhône facilitent de plus en plus le passage des grandes embarcations, propose d'adopter des coques de 130 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur, et il calcule qu'en tenant compte du poids de la coque et du moteur, quel qu'il soit, ces bateaux pourraient porter, à 0,70 de calaison, 370 tonnes; à 1 mètre, 730 tonnes, et à $1^m,20$, 1,100 tonnes.

M. Molinos établit par le détail des dépenses qu'avec un semblable bateau, avec un appareil grappin perfectionné, établi dans les conditions techniques de consommation et d'entretien les mieux étudiées, le prix de revient de la tonne kilométrique pourrait descendre de $2^c,2$ à 2 centimes (page 129).

Un Ingénieur très-expérimenté, M. Moreaux, a imaginé une solution encore plus complète. S'appuyant sur le fait bien connu que la résistance à la traction d'une coque est à peu près indépendante de sa longueur, il propose d'employer un train composé de deux ou trois coques porteuses, articulées entre elles et conduites par deux bateaux moteurs, placés l'un en tête, l'autre en queue du train. D'après les calculs de M. Moreaux, le prix de revient de la tonne kilométrique descendrait par ce système à 1c,8 et même au-dessous.

Il est donc maintenant certain qu'il est possible de munir le Rhône d'un système de batellerie économique.

Ce point acquis, M. Molinos discute par détails l'établissement du prix de revient de la tonne kilométrique transportée; il le fait avec un soin particulier et pour chaque cas, car ce prix est la mesure indiscutable de la valeur du système qu'il propose. Et il arrive aux prix suivants, pour le prix de revient de la tonne kilométrique :

1° Entre les canaux, 1c,25 pour les marchandises de 2e classe;
— 1c,625 — 1re classe;

2° Sur les rivières, à la remonte :
— 1c,925 pour les marchandises de 2e classe;
— 2c,05 — 1re classe;

3° Sur le Rhône, 2c à 2c 1/2;

4° Sur le parcours de Mons à Saint-Denis, comprenant canaux et rivières, prix moyen : 1c,30.

Si l'on combine ces différents prix, suivant le parcours qu'une tonne de marchandises aura à faire par canaux et rivières, on arrive, par exemple, à trouver qu'une tonne de marchandises sera transportée par la navigation améliorée de Paris à Lyon, au prix de 9f,78, tandis que par le chemin de fer, au tarif moyen de 0,05 par kilomètre, elle coûte actuellement 25 francs; et, au tarif le plus réduit de 0,03, applicable à un très-petit nombre de marchandises, elle coûterait encore 15f,25.

On peut donc attendre de la réforme de nos voies navigables une économie de 45 °/o environ sur les prix actuels de la batellerie, et de 70 °/o sur le prix moyen du chemin de fer.

Ces chiffres ont leur éloquence, et, en leur présence, M. Molinos est autorisé à dire que l'amélioration de la navigation intérieure de la France s'impose comme l'œuvre économique la plus pressante.

Cette amélioration peut-elle se faire sans dépenses trop considérables, et dans quel ordre peut-elle se faire?

C'est ce que M. Molinos examine dans son chapitre III.

Il considère d'abord comme nécessaire d'arrêter un plan d'ensemble, dont les parties pourront être exécutées suivant les besoins et suivant

les ressources, et il divise le réseau en trois groupes indiqués par la nature des choses.

En indiquant, comme mémoire, les quelques défectuosités à faire disparaître sur le réseau du Nord, qui est déjà le plus perfectionné, on reconnaît que la ligne de navigation qu'il faut terminer en premier lieu est celle du Havre à Port-Saint-Louis du Rhône, c'est-à-dire à la Méditerranée. Nos plus grandes industries, la métallurgie, le transport des vins, l'industrie sucrière, etc., sont intéressées à son exécution immédiate ; et il est vrai de dire qu'elle trouvera la presque totalité de son aliment dans l'accroissement de trafic qu'elle déterminera sans nuire au chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée et qu'elle est le moyen certain d'éviter les encombrements qui se produisent à certaines époques de crises.

Les lignes qu'il faudrait aborder en second lieu sont celles qui alimentent cette grande artère, et en première ligne les canaux vers l'Est, de manière à créer une voie navigable du Havre au Rhin. Cette voie sera ouverte par le perfectionnement de la basse Seine et du canal de la Marne au Rhin ; elle se compléterait par la construction des canaux qui doivent relier la Meuse et la Moselle à la Saône et par la réfection du canal du Rhône au Rhin, qui touche aux intérêts les plus graves de notre commerce dans la Méditerranée.

Enfin, en troisième lieu, viendrait le canal du Centre et le groupe de la Loire, comprenant le canal latéral à la Loire, la basse Loire et les liaisons avec le bassin de la Seine par les canaux du Loing et de Briare, le canal du Nivernais et le canal proposé par M. Krantz pour joindre le Loir au canal d'Orléans.

A quel prix s'exécuterait ce programme? c'est ce que M. Molinos veut examiner par groupe; mais il insiste particulièrement sur le premier, qui pourra faire juger le système entier par les résultats obtenus.

Le devis des travaux prévus pour assurer à la basse Seine, de Paris à Rouen, un tirant d'eau minimum de 2 mètres, est de 9,500,000 francs.

Un autre projet de M. Krantz propose de porter ce tirant d'eau à 3 mètres; au moyen d'une dépense de 18 millions; mais M. Molinos borne son ambition présente au tirant d'eau de 2 mètres, qui est suffisant pour que la péniche de 280 tonnes puisse se rendre en tout temps à Rouen.

En ajoutant à cette dépense de 9,500,000 francs celles qui sont nécessaires sur la Haute-Saône, sur l'Yonne, sur le canal de Bourgogne, qui nécessite des travaux importants pour assurer le mouillage de 2 mètres et le tirant d'eau normal de 1m,80, allonger les écluses de 34 à 42 mètres; sur la Saône, et enfin sur le Rhône, pour lui donner le mouillage minimum de 1m,20, M. Molinos trouve que le total des dépenses nécessaires pour établir la navigation uniforme du Havre à la Méditerranée arrive à 60 millions.

Il a montré, au courant de son ouvrage, que, par le fait des réductions des prix de transport, l'économie réalisée par l'industrie nationale sur cette grande voie de transport atteindrait 50 à 60 millions par an : c'est donc dire que la dépense serait payée en un an environ.

Arrivé à ce point capital de la discussion, M. Molinos cherche quels moyens d'exécution pourraient être employés.

Le premier moyen qui se présente à son esprit est un emprunt d'État; mais il croit, à tort peut-être, que ce moyen serait mal accueilli par le gouvernement, et surtout par le public, qui a encore des doutes sur l'avenir de la batellerie.

L'État pourrait encore alléger la charge qui lui viendrait de cet emprunt, en augmentant les droits de la navigation; mais la navigation protesterait avec raison : elle veut être traitée sur le même pied que les routes nationales, qui sont entretenues par les ressources de l'impôt. On pourrait aussi réclamer simplement de l'État l'inscription au budget de la dépense de 60 millions en plusieurs exercices; mais il y a peu de chance que le budget, déjà trop chargé, accepte cette solution.

Il faut donc avoir recours à l'industrie privée; telle est la solution acceptée par M. Molinos, et il propose d'adopter la voie de la concession des lignes navigables à des compagnies privées, par analogie avec ce qui a été fait pour nos chemins de fer.

Toutes les objections qu'on pourrait faire à ce système très-rationnel sont sans valeur.

M. Molinos les discute en homme sensé et habitué à ces combinaisons, et il conclut en disant : Nous voudrions, par exemple, voir concéder la construction et l'exploitation des grandes lignes de Paris à la Méditerranée avec les tarifs de 3 centimes par tonne kilométrique sur le Rhône et de 1c,5 sur le reste du parcours, et avec une garantie par l'État d'un minimum d'intérêt sur le capital de 60 millions. Dans ces conditions, l'État assumerait une charge qui serait probablement nulle, mais qui, en définitive, ne pourrait pas dépasser 3 millions par an ; nous sommes convaincus que la Compagnie ferait une excellente opération, et que le public réaliserait 40 % d'économie sur l'état actuel des choses et 70 % par rapport au chemin de fer.

Nous croyons au succès d'une telle combinaison, bien qu'elle exciterait peut-être des inquiétudes dans le sein des Compagnies de chemins de fer; mais il serait du devoir de l'État de la protéger comme il doit protéger tous les intérêts.

Si cependant il fallait renoncer à l'initiative privée, à cette solution qui est assurément la meilleure, sous quelle forme peut-on demander le concours de l'industrie privée pour la rassurer et sans jeter d'ombrage autour de soi ?

L'industrie privée pourrait prêter à l'État et recevoir en échange le

droit de percevoir un péage pendant 99 ans, et un minimum d'intérêt de 4,65 pour 100.

L'intervention de l'initiative privée, sous forme de simple prêt à l'État, ne porterait pas ombrage à la batellerie actuelle, comme le ferait le système des concessions complètes, qui est cependant, nous le répétons, à nos yeux, beaucoup plus rationnel.

La Compagnie pourvoirait à l'amortissement du capital fourni par elle, et, à l'expiration de la concession, l'État rentrerait purement et simplement en possession des revenus de la voie navigable améliorée. Une clause de rachat équitable, à la volonté de l'État, pourrait d'ailleurs être stipulée.

Le service du capital prêté serait évidemment assuré par cette combinaison: car ce service, à 6 pour 100, ne représente que 3,600,000 francs par an; or la perception du parcours, sur les 1,228 kilomètres de Rouen à la Méditerranée, par exemple, s'appliquant à 1 million de tonnes par kilomètre, aux tarifs de 0f,25 pour les marchandises de deuxième classe et de 0f,625 pour celles de première classe, que l'on supposerait représenter le cinquième du total, produirait 3,991,400 francs.

Il est donc bien évident que cette combinaison ne ferait courir aucun risque aux capitaux prêtés. Son seul inconvénient serait d'imposer à la navigation des rivières, la Seine, l'Yonne, la Saône et le Rhin, une charge supplémentaire qu'elle ne paye pas aujourd'hui. Il faudrait donc perfectionner cette combinaison en faisant accepter par l'État la charge correspondante aux droits à percevoir sur ces rivières, soit une différence de 1,686,000 par an pour 986 kilomètres en rivières.

Il ressort donc maintenant de la discussion de ces différents systèmes, ou que l'État aura intérêt à faire lui-même la dépense des 60 millions et à percevoir les produits de l'exploitation, ou que l'industrie privée peut en toute sécurité venir à son aide. Il n'y a donc plus de raison pour retarder des travaux qui peuvent se faire à si bon compte, avec tout repos, et qui sont si impérieusement réclamés par l'intérêt public.

Telle est, Messieurs, la conclusion dernière de M. Molinos; elle n'est pas discutable. Il faut seulement en admirer la discrétion et la sagesse, et espérer que notre belle France pourra devenir un jour plus aventureuse et aborder plus grandement la réalisation de grands projets embrassant l'ensemble et la transformation des merveilleux appareils hydrauliques dont elle est dotée.

Paris. — Imp. Viéville et Capiomont, 6, rue des Poitevins,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET, AOUT, SEPTEMBRE 1875)

N° 31

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Desséchement* (*Travaux d'amélioration et de*) *exécutés dans la province de Ferrare* (*Italie*), par M. Monnot. (Séance du 2 juillet, page 521.)

2° *Flexion des pièces droites et courbes et le calcul des arcs*, par M. de Dion. (Séance du 2 juillet, page 523.)

3° *Voyage fait en Angleterre, par plusieurs membres de la Société* (*Considérations sur un*), par MM. Bandérali et Chabrier. (Séances des 6 août et 3 septembre, page 526 et 532.)

4° *Gazomètres* (*construction des*), par M. Arson. (Séance du 2 août, page 529.)

5° *Legs de M. Paul Séguin*. (Séance du 3 septembre, page 530.)

6° *Chemin de fer à voie étroite*, par M. Chabrier. (Séance du 3 septembre, page 530.)

7° *Tunnel sous-marin d'Oléron*, par M. Jules Fleury. (Séance du 3 septembre, page 531.)

8° *Théorie de la chaleur et la cause du mouvement*, par M. Gillot. (Séance du 3 septembre, page 536.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Leger, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur les *Travaux publics, les mines et la métallurgie aux temps des Romains, la tradition romaine jusqu'à nos jours.*

2° De M. de Labry, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire de son étude sur les *Rapports financiers établis pour la construction des chemins de fer entre l'État et les six principales Compagnies françaises.*

3° De M. Fiévet, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur les *Associations de propriétaires d'appareils à vapeur.*

4° De M. le Président du conseil d'administration de la Société anonyme de Saint-Louis du Rhône, des exemplaires d'une note sur la question de *Salubrité du canal Saint-Louis.*

5° De M. Monnot, membre de la Société, de la part de M. le commandeur Mongini, un exemplaire d'une notice et trois photographies sur les opérations de *Desséchement effectuées aux environs de Ferrare (Italie).*

6° De M. Alfred Caillaux, membre de la Société, une note sur l'*Aérage des mines, tunnels, navires de guerre et autres*, d'après le système de M. Favet, ingénieur civil.

7° De M. Savy, éditeur, un exemplaire du *Traité pratique des essais au chalumeau*, par M. A. Terreil, chef des travaux chimiques au muséum d'histoire naturelle.

8° De M. Alfred Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire du rapport de la Commission chargée de proposer les mesures à prendre pour remédier *à l'infection de la Seine aux abords de Paris,* et un exemplaire de son rapport sur les *Gisements du guano du Pérou.*

9° De M. Tourneux, un exemplaire des *Rapports du Conseil d'administration dans l'assemblée générale des actionnaires de la Compagnie des chemins de fer au Nord-Est.*

10° De M. B. Roy et Cie, constructeur, un exemplaire d'une notice

sur les *compresseurs d'air* construits par lui *pour le tunnel du Saint-Gothard* et un exemplaire d'une notice sur les *perforateurs et affûts* système Ferroux, construits par M. Roy.

11° De M. Théodore Chateau, chimiste, un exemplaire d'une notice sur les *Eaux des égouts de Paris*.

12° De M. Macabies, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur son *Alimentateur automoteur à niveau constant pour chaudière à vapeur*.

13° De M. de Cœne, membre de la Société, un mémoire sur *la construction et l'exploitation des gares à marchandises dans les grandes villes*.

14° De M. Paul Ory, membre de la Société, un exemplaire d'une note *sur les procédés industriels des Japonais, l'arbre à laque*.

15° De M. Quéruel, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur *la Machinerie du nouvel Opéra*.

16° De M. de Carbaix, ingénieur civil, deux exemplaires d'une notice intitulée *les Vers à soie et la Vigne*.

17° De M. Lucien Renard, membre de la Société, un exemplaire du *Guide du cultivateur normand pour l'emploi de la chaux grasse en agriculture*.

18° De M. Ansart, membre de la Société, un exemplaire *du plan illustré de Santiago* (*Chili*), dressé par lui.

19° De M. da Silva Coutinho, ingénieur en chef, un exemplaire de son ouvrage intitulé *Estudos definitivos de Una à Boa-Vista*.

20° De M. Jules Fleury, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur *le percement du tunnel sous-marin d'Oléron et d'un tramway à traction-vapeur allant du Chapus à Chassiron, système Saint-Pierre de Goudal*.

21° De M. Louis Delaunay, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur *les Explosions de chaudières à vapeur*.

22° De M. Émile Level, membre de la Société, un exemplaire d'une note *sur l'Association des grandes Compagnies et des Sociétés locales, et de l'application de la voie étroite en vue de la construction et de l'exploitation économique des chemins de fer départementaux*.

23° De M. Nordling, membre de la Société, un exemplaire d'une bro-

chure intitulée *Ueber die zur Entweckelung des Franzosischen Eisenbahn-Netzes.*

24° De M. Lencauchez, membre de la Société, une note sur une nouvelle *Pompe à air comprimé* de MM. Geneste et Herscher.

25° Du journal *le Moniteur des chemins de fer*, les numéros du troisième trimestre 1875.

26° De la *Gazette des Architectes*, les numéros du troisième trimestre 1875.

27° De la *Société industrielle de Reims*, les numéros de son bulletin de mars et avril 1874.

28° De la *Revue horticole*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

29° De la *Gazette du Village*, les numéros du troisième trimestre 1875.

30° De la *Société des Ingénieurs autrichiens*, les numéros du premier trimestre de 1874, de leur *Revue périodique.*

31° Du journal *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, les numéros 3 et 4 de 1875.

32° Du journal *el Porvenir de la Industria*, les numéros des troisième et quatrième trimestres 1875.

33° De la *Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, le numéro du quatrième trimestre 1874 de son bulletin.

34° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du troisième trimestre 1874.

35° De la *Revue d'architecture*, les numéros 5 et 6 de l'année 1875.

36° De la Revue *les Mondes*, les numéros du troisième trimestre 1875.

37° Du journal *The Engineer*, les numéros du troisième trimestre 1875.

38° De la *Société d'encouragement*, les numéros du troisième trimestre 1875 de son bulletin.

39° De la *Société de géographie*, les numéros du troisième trimestre 1875 de son bulletin.

40° De la *Société nationale et centrale d'agriculture*, les numéros de septembre et octobre 1874 de son bulletin.

41° Des *Annales des chemins vicinaux*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

42° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

43° De la *Revue des Deux Mondes*, les numéros du troisième trimestre 1875.

44° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du troisième trimestre 1875.

45° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du troisième trimestre 1875.

46° Du journal de la *Revue industrielle*, les numéros du troisième trimestre 1875.

47° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du troisième trimestre 1875.

48° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du troisième trimestre 1875.

49° Du journal *le Cosmos*, les numéros du deuxième trimestre 1874.

50° De la *Société des Ingénieurs portugais*, les numéros du premier trimestre 1875 de son bulletin.

51° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du troisième trimestre 1875.

52° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du premier trimestre 1875.

53° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du premier trimestre 1875.

54° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

55° Du journal *la Houille*, les numéros du troisième trimestre 1875.

56° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du troisième trimestre 1875.

57° De l'*Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége*, les numéros du quatrième trimestre 1874 de son bulletin.

58° Du journal *Engineering*, les numéros du troisième trimestre 1875.

59° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros du premier trimestre 1875.

60° *Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne*, le premier numéro de son bulletin de 1875.

61° *Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube*, le tome XVII de la quatrième série de son bulletin.

62° *Institution of civil Engineers*, le numéro de leurs *Minutes of Proceedings* de 1875.

63° *Société des Ingénieurs anglais*, le numéro de leurs *Transactions* pour l'année 1875.

64° Du *Comité des forges de France*, les numéros 90 à 100 du bulletin.

65° De la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros de janvier, février et mars 1875 de son bulletin.

66° De l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, les numéros 31 et 32 de son bulletin.

67° Des *Annales des mines*, les numéros des 1re et 2e livraisons de 1875.

68° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros du premier trimestre 1875.

69° De l'*Aéronaute*, bulletin international de la navigation aérienne, le numéro du deuxième trimestre 1875.

70° Du *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

71° *Sucrerie indigène* (*La*), par M. Tardieu, les numéros du deuxième trimestre 1875.

72° *Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro du quatrième trimestre 1874 de son bulletin.

73° *A Magyar Mémök-Egyesület Közlonye*, les numéros du premier trimestre 1875.

74° De la *Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers*, les numéros de son bulletin du deuxième trimestre 1875.

75° De la *Société scientifique industrielle de Marseille*, du premier numéro de 1875 de son bulletin.

76° *Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre*, les numéros 7 et 8 de 1874 de son bulletin.

77° *Société des Arts d'Edimburgh*, le deuxième numéro de 1874 de son bulletin.

78° De l'*Encyclopédie d'architecture*, le numéro du deuxième trimestre de 1875.

79° *De l'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures*, les numéros du troisième trimestre de son bulletin de l'année 1875.

80° *Institution of Mining Engineers*, les numéros de leurs *Transactions.*

81° De l'*Institution of Mechanical Engineers*, les numéros du quatrième trimestre 1874 de son bulletin.

82° *Annales industrielles*, les numéros du troisième trimestre 1875.

83° De la *Société des Ingénieurs civils d'Écosse*, son bulletin du premier trimestre de 1875.

84° De la *Société industrielle de Rouen*, le numéro du premier trimestre de l'année 1875 de son bulletin.

85° *De la Société de Physique*, les numéros de son bulletin du premier trimestre de l'année 1875.

86° Du journal *le Courrier municipal*, les numéros du troisième trimestre 1875.

87° *Iron journal of science, metals et manufacture*, les numéros du troisième trimestre de l'année 1875.

88° De l'*Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France*, le numéro de son Bulletin.

Les Membres admis pendant ce trimestre sont :

Au mois de juillet :

MM. Adhemar, présenté par MM. Flachat Ivan, Hallopeau et Vée.
Blétry (A), présenté par MM. Badois, Hallopeau et Ollivier.
MM. Blétry (C), présenté par MM. Badois, Hallopeau et Ollivier.
Berendorf, présenté par MM. Donnay, Frey et Jordan.
Bouhey, présenté par MM. Donnay, Frey et Jordan.
Courtois, présenté par MM. E. Bourdon, Ch. Bourdon et Seiler.
Farcot fils, présenté par MM. Farcot père, Farcot Joseph et Farcot Abel.
Fouret, présenté par MM. Brüll, Cholet et Thomas Léon.
Violet, présenté par MM. Chabrier, Lasalle et Petre.

Au mois de septembre :

MM. Anthoni, présenté par MM. Barrault, Daguin et Molinos.
Evrard, présenté par MM. Garnier Jules, Périssé et Ponsard.
Helson, présenté par MM. Jordan, de Pascal et Périssé.
Larsen, présenté par MM. Hack, Després Al., et Lavalley.
Thoyot, présenté par MM. Jordan, Lavalley et Richard.
Hurston, présenté par MM. Jordan, Lavalley et Raymond.

Comme Membres associés :

MM. Penaud, présenté par MM. Armengaud, Brüll et Gauchot.
Plichon, présenté par MM. Lainé, Pihet et Tresca.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IIIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1875

Séance du 2 Juillet 1875.

Présidence de M. Richard, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juin est adopté.

M. le Président annonce le décès de M. Albert Grand.

Il est donné lecture d'une note de M. Monnot sur les travaux d'amélioration et de desséchement exécutés dans la province de Ferrare (Italie).

La province de Ferrare contient, dans sa partie la plus basse, environ huit cents kilomètres carrés de terres d'excellente qualité, alluvions du Pô, mais incultivables jusqu'à présent, attendu que leur plan moyen se trouve à dix centimètres au-dessous du niveau des plus basses marées de l'Adriatique.

Une compagnie puissante, moitié italienne et moitié anglaise, s'est constituée, en 1872, pour dessécher une partie de ces terrains, et les résultats obtenus dès aujourd'hui semblent assez remarquables pour être mis sous les yeux de la Société des Ingénieurs civils.

Un quadrilatère irrégulier, limité au nord par le canal Bianco, au sud par le Volano, à l'ouest par la digue du Brazzolo et à l'est par la mer, a été conquis sur les eaux et va être mis en culture au moyen du labourage à vapeur (système Fowler).

Ce vaste espace, mesurant cinquante mille hectares, a été sillonné par de nombreux canaux, dont la largeur de fond varie de six mètres à cinquante-quatre; elle est naturellement proportionnée au volume des eaux qui affluent dans chaque embranchement.

La pente a été réglée à raison de six ou sept centimètres par kilomètre.

Le grand canal collecteur, de 54 mètres de largeur au fond, aboutit à l'établissement, construit au lieu dit Codigoro, qui est à l'abri des plus hautes eaux, et a été choisi pour ce motif.

Ce bâtiment renferme (outre les accessoires, magasins, ateliers de réparation, etc.)

dix chaudières tubulaires à vapeur, quatre machines à vapeur et huit pompes centrifuges, qui par leurs dimensions constituent, au point de vue mécanique, la partie intéressante de l'installation.

L'édifice total a environ 80 mètres de longueur, il est placé à cheval sur le canal collecteur, et se compose d'une galerie de 54 mètres de long et de 9 de large, et de deux pavillons placés symétriquement aux extrémités de cette galerie.

Ces pavillons contiennent chacun cinq chaudières à vapeur, les cheminées qui les surmontent ont chacune 53 mètres de haut.

Les chaudières sont du type actuellement préféré par les constructeurs anglais.

Leur longueur est de 5m,50, et leur diamètre de 2m,20.

Chacune a deux foyers intérieurs de 2m,44 de long, d'où la flamme, après avoir traversé une chambre intermédiaire, passe dans les 108 tubes de 0m,08 de diamètre, et de 1m,30 de long qui termine la chaudière.

Deux de ces chaudières suffisent pour activer une machine à vapeur, celles-ci étant au nombre de quatre, il reste deux chaudières disponibles pour les éventualités de nettoyage ou de réparations.

Chacune des machines est de la force de 260 chevaux, soit pour l'ensemble 1040 chevaux, force qui a été mesurée en eau effectivement élevée.

Ces machines ressemblent beaucoup aux machines marines, système Woolf, elles ont deux cylindres accouplés et parallèles, l'un de 0m,70 de diamètre, l'autre de 1m,18.

Les pistons ont une course de 0m,685 et une vitesse moyenne de 2m,35 par seconde, soit 100 à 130 coups par minute.

Leurs bielles agissent directement sur les manivelles de l'arbre des pompes centrifuges, qui font par conséquent autant de révolutions que les machines donnent de coups de pistons, et prennent une vitesse, à la périphérie, de 8m,60 à 10m,20 par seconde.

L'arbre est en acier fondu, et du diamètre de 0m,20. Ces pompes centrifuges ont été construites, ainsi que l'ensemble des appareils, par la maison Gwynne (Hammersmith Iron Works, London).

Elles sont, dit-on, les plus grandes et les plus puissantes qui aient été montées jusqu'à présent, chaque couple élevant, à une faible hauteur, il est vrai, 7mc,50 d'eau par seconde, soit trente mètres cubes par seconde pour la production générale.

Un perfectionnement a été apporté à leur emploi en utilisant l'eau qu'elles ont élevée à la condensation des vapeurs d'échappement.

A cet effet, derrière chaque machine a été établi un condenseur horizontal de 2 mètres de diamètre, contenant 340 tubes de laiton de 0m,08 de diamètre.

Les eaux traversent ces tubes, dans les intervalles desquels vient se condenser la vapeur dégagée par la machine.

La valeur de ce perfectionnement est contestable, car, s'il est vrai qu'on a ainsi l'avantage d'alimenter à l'eau distillée, d'autre part cette eau se trouve beaucoup plus refroidie qu'il ne serait nécessaire, et toute l'économie désirable et possible de combustible n'est pas encore réalisée rigoureusement.

Le résultat final, économique, de l'entreprise, ne peut être encore évalué : cependant on peut dire dès à présent :

1° Au point de vue mécanique :

Que la possibilité d'expulser trente mètres cubes d'eau par seconde paraît une garantie suffisante pour assurer l'assèchement permanent des 50,000 hectares.

En effet, du 1er décembre 1874 au 1er mai 1875, il a suffi d'extraire réellement 70,323,725 mètres cubes (quantité qui a été mesurée exactement), pour maintenir le niveau de l'eau au-dessous du plan des vallées.

2° Au point de vue agricole :

Nous avons pu constater, chez un cultivateur de la même province qui a établi le labourage à vapeur sur des terrains desséchés comme ceux de Codigoro, que le chanvre réussit parfaitement, et que le blé produit plus de trente hectolitres à l'hectare, on obtiendra très-probablement les mêmes résultats dans les dessèchements actuels.

Il y aura une difficulté à surmonter : celle du manque d'eau potable, car, dans leur état actuel au moins, les eaux sont impropres à l'alimentation. Ce serait une grave objection que l'application du labourage à vapeur ne résout que partiellement et temporairement jusqu'au jour où une quantité de bétail devra être maintenue, dans l'intérêt de la conservation de la fertilité du sol.

3° Au point de vue financier la Société paraît être entrée dans une assez bonne voie.

Elle s'est constituée au capital de 8,000,000 de francs en or, entièrement versés, et dont la moitié a été fournie par une compagnie anglaise.

On a dépensé en travaux d'art, constructions et machines, 2,500,000 francs.

On a acheté 20,000 hectares de terre moyennant 4,500,000 francs.

Le reste du capital disponible devra suffire à l'accomplissement final des travaux de la mise en marche agricole.

Les 20,000 hectares achetés par la Société, soumis à l'assolement chanvre, blé, ou à l'assolement chanvre, blé, maïs, donneront un produit net capable de payer largement l'intérêt du capital engagé.

Il y a tout lieu de l'espérer, et on doit le souhaiter fermement, car les hommes courageux et habiles qui se sont mis à la tête de cette entreprise méritent, à tous égards, de voir leurs magnifiques travaux convenablement rémunérés.

M. Quéruel fait observer que M. Monnot conteste les avantages de l'application des condenseurs à surface aux machines à vapeur d'épuisement. Il considère que le refroidissement excessif qui résulte de ce mode de condensation, bien qu'il donne de l'eau distillée pour les chaudières, est suffisant pour en atténuer tous les bénéfices. M. Quéruel ne voit dans ces résultats qu'une exagération trop grande des surfaces réfrigérantes, et il ne manque pas de moyens pour y remédier. Il suffirait, par exemple, de régler le cours d'eau réfrigérante comme l'on règle le volume d'eau d'injection dans les condenseurs ordinaires. C'est là une simple question de mesure, et M. Quéruel pense qu'il est utile de rectifier dans ce sens l'assertion de M. Monnot.

M. de Dion expose qu'il a présenté à la Société, dans la séance du 21 mai dernier, quelques considérations sur le calcul des ponts suspendus, en tenant compte de la résistance que peuvent apporter par leur rigidité le tablier, la chaîne et les tympans; mais qu'il n'avait fait qu'indiquer, sans la préciser, l'influence des flèches produites dans le tablier rigide par la surcharge. Depuis il a trouvé qu'en représentant l'intégrale de l'équation différentielle de déformation par un solide, au moyen duquel on détermine les flexions d'une pièce à section variable et soumise à des moments fléchissants quelconques, on mettait en évidence l'influence des données principales des problèmes.

M. de Dion a étendu cette méthode aux déformations d'un arc, il a eu l'occasion de l'appliquer au calcul d'un beau projet de pont en arc de 148 mètres de portée.

Les résultats ont été très-précis et surtout plus clairs que ceux obtenus par l'emploi des formules intégrales. Les tracés graphiques présentent, en effet, des séries de résultats, et en montrent la loi; et comme on peut y introduire les évaluations correspondantes aux irrégularités des données du problème, on peut obtenir, par leur emploi, la plus grande précision.

Pour une poutre droite, un élément S de longueur da, sur lequel agit un moment fléchissant M, produit à une distance C une flèche $df = \frac{MC\,da}{EI}$, E étant le coefficient d'élasticité, et I le moment d'inertie de la section.

Pour une pièce courbe, les déplacements horizontaux et verticaux d'un point placé à une distance C de l'axe neutre de l'élément S sont, en représentant les projections de C et de df par des indices, et par μ le moment fléchissant dans la pièce courbe,

$$df_x = \frac{\mu C_y\,da}{EI} \qquad df_y = \frac{\mu C_x\,da}{EI}.$$

Ces éléments de flèches ou de déplacements se composent de trois facteurs $\frac{\mu}{EI}$, C, da dont le produit représente un volume élémentaire qu'il est facile de construire. Si une droite AB est le développement de la pièce droite ou courbe, un élément de cette ligne représentera da; en portant verticalement les valeurs correspondantes de $\frac{\mu}{EI}$, et horizontalement la valeur de C, on obtiendra le solide représentant la flèche df; et le solide formé par les valeurs correspondantes à tous les éléments da de la ligne AB représentera la flèche totale. Or il faut remarquer que l'on peut prendre, soit la flèche de A par rapport à B, soit la flèche de B par rapport à A et que ces deux flèches sont différentes. Elles sont représentées par deux solides complémentaires, dont l'ensemble est un prisme ayant pour base les valeurs $\frac{\mu}{EI}$, et pour hauteur la plus grande valeur de C, qui est toujours égale à $C^y + C^x$.

Passant en revue les différents cas d'une poutre droite, on voit comment, après avoir tracé la courbe des flèches par rapport à une section considérée comme fixe, on détermine les flèches réelles par le tracé d'une droite rigide qui n'aurait subi que le mouvement angulaire de la section d'abord considérée comme fixe, et comme aussi on doit tenir compte des solides positifs et négatifs, dont la somme, représentant la flèche, est égale à zéro dans le cas d'une poutre encastrée d'un ou de deux côtés.

On peut donc calculer exactement la manière dont se comporte un tablier rigide soutenu par une chaîne flexible.

L'arc de 148 mètres de portée, auquel la méthode a été appliquée, a la forme d'un croissant, reposant sur les culées par ses extrémités. Dans le cas de l'arc, il y a un nouvel élément qui intervient : c'est la compression dans l'arc, laquelle produit des déplacements indépendants de ceux dus à la flexion. Ces déplacements sont très-simples à calculer quand on les rapporte à la longueur développée de l'arc, au lieu de les rapporter à la projection, comme cela se fait toujours. En effet, si on appelle Q la compression normale sur une section Ω, une longueur da se raccourcira de $\frac{Q\,da}{E\Omega} = di$. Or, les projections verticale ΣP et horizontale N de la force Q

sont proportionnelles aux projections di', di'', du raccourcissement di, on a donc : $\frac{Q}{N} = \frac{di}{di'}$; remplaçant Q par la valeur, on obtiendra : $\frac{N da}{E\Omega} = di'$.

Par conséquent le déplacement horizontal est égal au raccourcissement qui serait produit suivant l'arc par la force horizontale N, agissant toute seule et normalement aux sections.

On aurait pu, pour calculer l'arc, chercher quel est l'accroissement de la corde qui serait produit par l'action des poids verticaux, agissant sans tenir compte de la poussée horizontale, puis chercher ensuite quelle est la valeur qu'il faut donner à cette poussée N pour ramener l'arc à sa portée normale; mais en suivant cette marche il faudrait calculer les modifications de longueur de la corde, en évaluant deux volumes résultants de très-grands moments de flexion, et dont la différence doit être égale à zéro. On obtiendra plus facilement l'exactitude des calculs en introduisant tout de suite une force horizontale N approximative, de manière que les moments μ se rapprochent de ceux qui se produisent réellement dans l'arc, puis en calculant la modification de longueur de corde. Si ensuite par un calcul préalable on a déterminé le raccourcissement proportionnel produit dans la corde par la compression horizontale, on pourra corriger la force N pour que la longueur de la corde ne soit pas modifiée.

La force N étant déterminée pour tous les cas de surcharge qu'on veut examiner, on obtient les coefficients de résistance en chaque section.

Il était important de connaître les déplacements de l'arc dans les différents cas, afin d'en conclure le mode d'attache du tablier. Pour y arriver on a calculé les déplacements dus à la flexion, on y a ajouté ceux dus à la compression, et on a tracé les déplacements par rapport à une section considérée comme fixe; traçant ensuite la droite qui donne le mouvement angulaire de cette section, on a obtenu les déplacements réels.

On a pu étudier ainsi l'influence de la forme de l'arc et de ses moments d'inertie sur ses déformations.

On a reconnu tout l'intérêt qu'il y aura à redresser l'arc près des naissances, et à diminuer la corde par un serrage d'une quantité dépendant de la température lors du montage.

Le tracé des déplacements au fur et à mesure que la surcharge s'avance sur le pont donne le parcours elliptique des différents points de l'arc, si on ne tient compte que de l'effet statique de la surcharge ; mais il est facile d'avoir une approximation de l'effet dynamique, elle n'a pas encore été calculée pour l'arc en question.

Le vent produit dans le sens horizontal une flèche qui est obtenue immédiatement par le tracé de l'épure dans laquelle les C sont les distances de la clef à la ligne passant par l'axe neutre des sections pour lesquelles on a calculé les $\frac{\mu}{EI}$.

M. de Dion termine en disant que l'on peut aussi se servir de cette même méthode pour le calcul des arcs encastrés à leur naissance, et déterminer les modifications qui interviennent si on vient à changer, par le calage, le plan de ces naissances, et qu'il en fera le sujet d'une autre communication à la Société.

M. le Président remercie M. de Dion de son intéressante communication, il regrette que l'heure avancée ne permette pas d'ouvrir une discussion.

MM. Adhémar, Bletry (A.), Bletry (C.), Bouhey, Berendorf, Courtois, Farcot (Paul),

Fouret et Violet ont été admis comme Membres sociétaires, et M. Penaud comme Membre associé.

Séance du 6 Août 1875.

Présidence de M. De Dion, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à neuf heures.

Le procès-verbal de la séance du 2 juillet est adopté.

M. le Président a la satisfaction d'annoncer à la Société la promotion de M. Alcan comme Officier de la Légion d'honneur.

Il fait part de la nomination de M. Demimuid comme Officier d'Académie.

M. le Président annonce également que M. Achille Le Cler, membre de la Société, vient d'obtenir de la Société Centrale d'Agriculture la grande médaille d'or, pour les travaux d'établissement de polders dans la baie de Bourgneuf (Vendée).

La parole est à M. Banderali pour rendre compte à la Société d'un voyage que viennent de faire en Angleterre neuf de nos collègues, chefs de service ou anciens chefs de service de plusieurs Compagnies des chemins de fer français.

M. Banderali ne veut que signaler quelques-uns des points intéressants que cette visite leur a permis d'étudier dans l'exploitation actuelle des chemins de fer anglais. Cette rapide tournée a commencé par l'étude du chemin de fer du London-Brighton et South-Coast dont le matériel se renouvelle, et des ateliers si bien dirigés de Brighton. Le séjour à Londres a été malheureusement de trop courte durée.

M. Banderali dira quelques mots du chemin de fer métropolitain. On est frappé au plus haut degré, en arrivant à Londres, de l'allure particulière de ce chemin, où les trains se succèdent d'une manière continue avec la plus grande rapidité.

Il faut, pour arriver à ce résultat, une grande promptitude dans l'arrêt et dans le départ, et les Anglais cherchent, en partie, la solution dans un frein continu appliqué à tous les véhicules du train, et qui soit complétement et d'une façon absolue à la volonté du mécanicien.

L'application d'un tel frein est, en effet, essentielle dans les conditions d'exploitation du Métropolitan-Railway et des chemins de fer des environs de Londres. Aussi on retrouve cette préoccupation constante et dominante dans toutes les inventions relatives aux freins qui se produisent journellement. C'est ainsi que pour les essais qui ont été faits il y a quelques semaines (sur l'ordre d'une Commission du Parlement chargée de rechercher les moyens d'éviter les accidents de chemins de fer, et dans le but de décider à ce sujet quel était le meilleur principe à adopter pour la construction des freins), huit systèmes ont été présentés et tous étaient continus, appliqués à tous les véhicules d'un train et complétement à la volonté du mécani-

cien, soit que le mode d'action dérivât de l'air comprimé, de l'eau, du vide, ou de la communication mécanique.

L'attention de nos collègues a aussi été sollicitée par les dispositions de quelques-unes des grandes gares de Londres. Les plus intéressantes sont celles du Midland, de Victoria, de Cannonstreet et de Broadstreet; les nouvelles gares ont deux étages, les wagons sont descendus de l'un à l'autre par un appareil hydraulique.

En général, la puissance hydraulique est très-répandue en Angleterre; ainsi, à la gare des marchandises du Midland, toutes les manœuvres de wagons et de plaques se font par des cabestans hydrauliques, qui offrent cette particularité sur ceux analogues qui étaient appliqués auparavant, qu'ils ne tournent qu'à volonté au lieu d'être animés d'un mouvement continu comme à Kings' Cross. Les installations de compresseurs et d'accumulateurs sont remarquables. On voit aussi à cette gare une pompe à incendie à vapeur qui mérite d'être citée.

Le chemin de fer du Midland développe l'usage des voitures Pullmann. Ces voitures sont d'une application très-étendue sur le Midland-Railway; cette Compagnie a trouvé le moyen de supprimer les places de 2e classe d'une manière complète. Depuis six mois il n'y a plus en service que des voitures de 1re et de 3e classe et des places de luxe. Ces places de luxe, qui permettent de dormir, sont très-goûtées en Angleterre. Le train qui part le soir à minuit de Londres, pour arriver le matin à Liverpool à six heures, n'est composé que de voitures système Pullmann; il renferme deux voitures à dormir; comme le trajet n'est que de six heures et que ce temps de sommeil peut être considéré comme court, les porteurs de tickets de luxe peuvent venir à dix heures du soir prendre leur place dans la gare de Londres et rester jusqu'à huit heures du matin dans leur compartiment à Liverpool. Ils ont ainsi, moyennant un supplément de 7 ou 8 schellings (10 fr. environ) la possibilité de passer une nuit complète dans le wagon et d'éviter d'aller à l'hôtel.

A Liverpool, sans parler de Birkenhead, il est curieux de voir circuler à la fois sur la voie d'exploitation des docks trois genres de véhicules : les wagons du chemin de fer, les gros chariots qui amènent les marchandises et qui sont traînés par des chevaux, et enfin les voitures du tramway. Lorsque le train arrive, les chars et l'omnibus du tramway abandonnent la voie qu'ils reprennent après le passage.

A Crewe, le plus grand intérêt se porte sur les immenses ateliers où s'exécute tout le matériel de la Compagnie du London et North-Western. On y fait absolument tout, excepté de réduire le minerai dans le haut-fourneau. La fonte arrive brute du dehors et on la transforme en fer et en acier pour les pièces de toutes sortes. M. Webb, l'ingénieur de la Compagnie, tend à étendre le plus possible l'emploi de l'acier dans la locomotive. Il obtient sous ce rapport de très-bons résultats par suite de la sûreté avec laquelle s'opère la classification des aciers; il faut dire que M. Webb faisant lui-même son acier, il l'essaie, le contrôle et rebute tous les produits qui ne sont pas conformes à ses exigences.

Un autre fait particulier aux ateliers de Crewe est l'emploi de la fonte pour les roues des locomotives à marchandises. En Amérique cet emploi est universel pour toutes les roues des locomotives. Ces roues sont faites avec des fontes de choix, très-bien moulées et cerclées d'un gros bandage en acier. Elles résistent indéfiniment et ont l'avantage de ne coûter que fort peu de main-d'œuvre; depuis deux ans on n'a pas constaté qu'une seule roue se soit cassée, même dans des déraillements.

En quittant Crewe, nos collègues se sont rendus dans le pays de Galles. Ils y ont

constaté que la gare à marchandises de Holyhead est munie de cabestans pour toutes les manœuvres; ces cabestans sont mus par une transmission mécanique au lieu de l'être par la puissance hydraulique.

Mais ce qui a le plus attiré leur attention, c'est le chemin de fer à voie étroite de Festiniog. Ce chemin présente des rampes de 12 1/2 à 15 millimètres et des courbes très-raides de 44 mètres au minimum; la voie a $0^m,60$ et les trains ont une très-grande longueur, quelquefois jusqu'à 120 wagonnets dont six voitures à voyageurs; ils pèsent moyennement 100 tonnes et peuvent marcher à la descente à une vitesse de 45 kilomètres à l'heure; la locomotive est du système Fairlie, elle est très-stable. La stabilité paraît être assurée d'ailleurs par des voies très-bien établies et parfaitement entretenues. Le trafic de ce petit chemin de fer est extrêmement important relativement à sa longueur et à ses dimensions; il a 24 kilomètres environ. Ainsi il porte annuellement 140,000 tonnes d'ardoises, 20,000 tonnes de marchandises diverses et 140,000 voyageurs.

Le voyage s'est terminé par l'étude des chemins de fer du Sud du pays de Galles.

A Swansea, port qui devient de plus en plus important, se trouve une usine à briquettes, dont les produits se vendent surtout en France. En Angleterre on brûle peu de briquettes, sans doute parce que l'on trouve le charbon très-facilement et à des prix minimes. Les briquettes de Swansea sont remarquables par leur pureté; c'est à peine si elles contiennent 5 p. 100 de cendres; la marine et les chemins de fer français les recherchent. L'installation de cette usine appartenant à la Compagnie française de Graigola Merthyr est tout à fait remarquable; la manutention des wagonnets de briquettes se fait avec une rapidité extraordinaire; ils sont descendus par des grues hydrauliques de la plate-forme supérieure de l'usine jusque dans la cale du bateau en chargement; là, ils sont déchargés à la main et renvoyés instantanément par une voie établie sur le charbon lui-même déjà chargé dans la cale. Il n'est pas rare de voir charger un bateau de 1,000 tonneaux en trente-deux heures.

A Llandore se trouvent les usines à acier où s'exploitent le plus complétement les nouveaux procédés Siemens. Il faut signaler l'emploi nouveau du coke d'anthracite qui sert à la fusion de la fonte. Ce coke provient d'un mélange d'anthracite, de charbon gras et de brai; on en obtient un coke très-dur et qui produit une économie de 25 pour 100, à ce que disent les ingénieurs de l'usine.

A Cardiff, le port se distingue par un nouveau dock et les installations des grues Armstrong, pour l'embarquement des houilles. Il faut surtout rappeler la disposition des élévateurs des wagons qui, arrivés au point désigné, sont basculés par l'effet d'un piston dont la manœuvre est assez facile et prompte pour qu'il soit possible de secouer plusieurs fois de suite le wagon pour en faire tomber les morceaux qui resteraient adhérents. C'est le « tipping machine. »

Il faut visiter à Swindon les ateliers du Great Western Railway. Cette Compagnie a dû abandonner progressivement la voie large de Brunel pour la remplacer par la voie de $1^m,50$. Cet abandon exige une transformation complète du matériel; c'est à Swindon que s'opère cette transformation. On y construit aussi un nouvel atelier de chaudronnerie sur des bases exceptionnelles; on peut y remarquer l'usage de chariots transbordeurs à course très-rapide. Il est utile de noter que le Great Western construit lui-même tout son matériel.

En résumé, M. Banderali ne peut qu'engager les membres de la Société à faire en Angleterre de fréquentes visites. Il y existe des solutions que nous ne possédons pas

en France, qui sont appliquées avec une telle généralité et qui paraissent si simples, qu'on est tout étonné, lorsqu'on revient dans notre pays, de ne pas les y retrouver. Il doit, en terminant sa communication, témoigner de l'accueil particulièrement cordial que nos collègues ont rencontré auprès des ingénieurs et industriels anglais, et remercier tous ceux qui les ont amicalement reçus et assistés dans le cours de leur voyage.

M. le Président remercie M. Banderali de son intéressante communication, et ajoute que le sujet de l'exploitation des chemins de fer en Angleterre est un des plus intéressants, et mérite toute l'attention de notre Société. Notre Collègue M. Chabrier a demandé à ajouter à l'exposé que nous venons d'entendre quelques considérations générales sur les dispositions adoptées dans ce pays et en France, mais il est déjà tard, et nous avons à entendre la communication de M. Arson. Nous renverrons donc les observations de M. Chabrier qui viendront en même temps que la communication de M. de Cœne, sur les gares en Angleterre.

M. Arson donne ensuite communication à la Société d'une notice rédigée par la Compagnie Parisienne du gaz sur la construction des gazomètres. Cette notice accompagnait à l'exposition de Vienne les dessins et les modèles représentant les diverses parties qui constituent les gazomètres qu'elle construit.

M. Arson présente cette communication, non-seulement en son nom, mais il est autorisé par une décision du Conseil d'administration de la Compagnie à faire connaître à la Société les procédés et les méthodes adoptés par elle.

Ce caractère donné à sa communication oblige M. Arson à lui laisser une généralité absolue, et à en exclure à regret tout nom d'auteur des solutions proposées.

Le travail de M. Arson présentant un grand intérêt et devant être imprimé *in extenso* dans le *Bulletin*, il n'en est donné ici qu'un court résumé.

Après un chapitre d'introduction sur les conditions générales d'établissement des gazomètres et de leur construction, l'auteur examine successivement les points suivants :

1° *Les terrassements et la forme des fouilles.* — Ce chapitre comprend la forme à donner aux fouilles, les inclinaisons des talus pour différents terrains, et la question éminemment intéressante du concours apporté à la résistance des enveloppes en maçonnerie par leur adossement en terrain naturel. Cette étude a donné lieu à des expériences suivies sur la résistance offerte à la compression par les remblais et les différents terrains, à différentes hauteurs, sur l'influence de la compression artificielle de ces remblais, et sur les effets produits par le sable sec ou délayé dans l'eau.

2° *Les maçonneries.* — La nature des matériaux à employer, et leur mode de liaison et les éléments de résistance apportés par les maçonneries dans la stabilité générale de l'ouvrage.

3° *Les ciments et les enduits.* — Leur composition, épaisseur, mode d'emploi, temps de prise, etc.

4° *La construction des cloches simples*, qui donne lieu à des remarques pleines d'intérêt sur le mode d'armature, la position des galets sur le cylindre, la construction des porte-galets en fer rivés, et l'emploi des rivets exclusivement en fer de Suède et rivés à froid.

5° *La construction des cloches télescopiques* et l'étude de la gorge.

6° *Les tuyaux adducteurs.* — Ils doivent être à grande section, sans variation de

section, n'offrant pas de cavités où puisse s'amasser la naphtaline, et disposés pour un nettoyage facile qui doit être fait à l'eau froide.

7° *Les guides.* — Sur ce sujet, M. Arson donne des indications développées sur les systèmes de guidage à employer, et déduit d'une étude raisonnée des déformations que les galets doivent être tangentiels et non normaux au cylindre. Dans le premier cas il peut se produire un déplacement de l'appareil, mais il a lieu sans déformation; dans le second cas, au contraire, en même temps que le déplacement a lieu, il se produit une déformation qu'il faut éviter; enfin dans le premier système les pressions de la cloche ne se produisent que sur un petit nombre de guides, tandis que dans le second elle se répartit sur tous les guides.

8° *La construction des colonnes et dé leurs entretoises*, basée sur des déductions tirées de l'étude des déformations possibles par l'effort des différentes forces qui peuvent agir sur le gazomètre et entre autres par l'effet d'un grand vent.

M. Arson met sous les yeux de la Société quelques modèles pour la démonstration des principes qu'il vient d'indiquer.

M. le Président remercie M. Arson de sa très-intéressante communication qui prend une si grande valeur par l'expérience de la Compagnie Parisienne du gaz, et par les résultats tout à fait remarquables qui viennent d'être signalés à la Société sur l'invitation du Conseil d'administration de cette Compagnie.

Séance du 3 Septembre 1875.

Présidence de M. De Dion, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 août est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de deux de ses plus anciens sociétaires, MM. Paul Séguin et Farcot père. C'est une perte non-seulement pour notre Société, mais pour notre profession tout entière, car il ne faut pas l'oublier, ces deux hommes étaient nos maîtres, ils ont été les pionniers et pour ainsi dire les fondateurs de la profession d'ingénieur civil.

M. Paul Séguin a voulu qu'après sa mort notre Société reçût encore une nouvelle preuve de l'intérêt qu'il lui portait; il nous laisse, par testament, une somme de cinq mille francs.

M. le Président propose :

1° D'accepter le legs de M. Paul Séguin;

2° De voter des remerciements à sa famille.

Ces deux propositions sont acceptées à l'unanimité.

Il est ensuite donné lecture de la lettre suivante de M. E. Chabrier :

Monsieur le Président,

La Société des Ingénieurs civils a toujours préconisé l'emploi des voies étroites,

pour l'exploitation des lignes secondaires de chemins de fer; la résistance à cette solution, habilement excitée dans les populations, commence à s'éteindre, et il serait peut-être utile de solliciter de tous nos Collègues, qui suivent cette question, l'envoi d'une note sur leurs efforts, et les résultats obtenus.

Cette petite enquête aura l'avantage de faire voir la multiplicité des intérêts que touche cette solution, et hâtera certainement le moment où elle ne sera plus contestée.

J'ai déjà, pour ma part, fait connaître à la Société ma demande de concession d'un chemin de fer sur accotement de route de Gretz-Armainvilliers à Lieursaint ou Combs-la-Ville; je m'empresse de l'informer aujourd'hui que l'enquête sur la section de Gretz à Brie-Comte-Robert vient de se terminer sans objection sérieuse, et que nous allons procéder à l'établissement de la ligne.

La plus grosse difficulté tient surtout au peu de chance de primes que ces affaires offrent, et il était utile avant tout de traiter le moyen d'avoir les capitaux.

J'ai l'honneur de vous remettre quelques exemplaires d'une lettre que j'ai adressée, sur ce sujet, au Ministre des travaux publics, et qu'il a bien voulu me permettre de publier, ne repoussant pas le principe du concours, tout moral, que je propose de demander aux grandes Compagnies et à l'État.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, etc., etc.

M. le Président pense que l'enquête demandée par M. Chabrier se trouve naturellement ouverte par la lecture de cette lettre; il engage donc les membres de la Société qui auront des observations à présenter, de vouloir bien les adresser au Secrétariat, où un dossier sera ouvert.

M. Arson indique qu'une communication relative à un chemin de fer sur l'accotement d'une route a été faite dans une réunion tenue à Nantes, et que cette idée a été généralement acceptée par une nombreuse assistance.

M. le Président rappelle que cette question a été longuement traitée à notre Société, en 1868, et qu'il est intéressant de constater que les progrès réalisés sur cette question ont certainement pris naissance dans les discussions qui ont eu lieu au soin de notre Société.

M. le Président donne également lecture d'une lettre de M. Jules Fleury :

Monsieur le Président,

Permettez-moi de vous offrir, Monsieur le Président, ainsi qu'à nos honorables et chers Collègues, la primeur d'une brochure que je viens de publier, sur un projet de jonction de l'île d'Oleron au continent par un tunnel sous-marin de 2,200 mètres. Ce projet est complété par celui de l'établissement d'un tramway à vapeur, traversant l'île d'Oleron d'une extrémité à l'autre.

Quoique le premier projet soit déjà vieux de vingt ans, il est devenu tout d'actualité, grâce aux études de son grand frère, le tunnel sous la Manche, et, si j'arrive à exécuter mon projet promptement, j'aurai cette bonne fortune que les études que je ferai, sur les terrains crétacés traversés, serviront probablement au grand tunnel, puisque je compte trouver, entre 15 et 30 mètres de profondeur, les mêmes couches qui existent sous la Manche, seulement au-dessous de 150 mètres de profondeur du niveau moyen de la mer.

J'ai l'espoir, Monsieur le Président, que vous voudrez bien, le cas échéant, ainsi

que nos savants Collègues, m'aider de vos lumières dans l'exécution de mon œuvre.

Recevez, Monsieur le Président, etc.

La parole est ensuite donnée à M. E. Chabrier pour compléter l'exposé fait par M. Banderali, dans la séance du 6 août, sur leur voyage en Angleterre.

Permettez-moi, Messieurs, d'ajouter à l'exposé des faits, observés avec le plus vif intérêt, par tous ceux qui ont fait partie de l'excursion dont on vous a rendu compte, quelques considérations sur les rapprochements que nous étions naturellement portés à faire entre nos services et ceux de nos voisins.

Dans le dernier débat législatif sur les chemins de fer, les orateurs se sont attachés à discuter le mode de concession, ou le prix de revient du kilomètre de ligne ferrée, sans examiner si c'était bien là qu'était la difficulté, là qu'il fallait chercher la cause des attaques dirigées contre les grandes Compagnies. Or, il est bien évident que le mode de construction, et même le prix de revient d'une ligne, touchent peu de personnes; tandis que la grande majorité de la population est journellement en rapport avec les services de l'exploitation et se plaint de ces services. Je n'entends nullement me faire ici l'avocat du public, souvent très-exigeant, exagéré dans ses récriminations, ignorant toujours des difficultés qui empêchent de lui donner satisfaction. Je constate seulement que l'on se plaint de nos services de l'exploitation, pour rapprocher ces plaintes d'une impression que je ne crois pas avoir été seul à rapporter.

En Angleterre, les administrations de chemins de fer se préoccupent sans cesse de la satisfaction à donner au voyageur, elles font des sacrifices considérables pour atteindre ce but. En France, cette préoccupation est secondaire, nos administrateurs cherchent surtout à exploiter moins cher que l'année précédente, à maintenir le dividende; et la part de l'État dans les résultats obtenus vient encore entretenir, justifier presque, ces dispositions.

D'un côté la recherche permanente de toutes les facilités qu'il est possible d'accorder pour rendre le voyage facile et agréable; de l'autre, le froid règlement appliqué avec une rigueur indifférente des contrariétés qu'il occasionne.

Le système anglais est incontestablement plus juste, plus industriel. En effet, la grande préoccupation du commerçant est de satisfaire la clientèle; or, la clientèle des chemins de fer, c'est le voyageur; faciliter le voyage, c'est augmenter le nombre des voyageurs, accroître la clientèle. Rechercher tout ce qui peut faciliter le voyage, le rendre agréable est donc le moyen le plus logique d'accroître le trafic et d'assurer la rémunération des capitaux engagés dans les entreprises de chemins de fer.

Je ne pense pas que l'on oppose à cette assertion les résultats financiers obtenus dans les deux pays, et que l'on propose de consulter les actionnaires de chaque côté du détroit. Il serait alors trop facile de faire ressortir combien il est regrettable que le public soit d'autant mieux traité, que la caisse publique a moins contribué à l'établissement des chemins de fer; ce serait ramener la question du choix à faire entre le monopole et la libre concurrence. Ce choix est fait, la question ne peut plus être discutée. Il est permis de dire que l'on a quelquefois regretté, en Angleterre, notre système des grandes Compagnies associées de l'État. Acceptons-le donc, mais en reconnaissant et cherchant à réduire ses imperfections; et s'il faut

absolument assurer chaque année un dividende au moins égal à celui de l'année précédente, nous pouvons le faire aussi bien par un développement toujours croissant du trafic que par une réduction parcimonieuse des dépenses.

Cette préoccupation de faciliter le voyage, de chercher la satisfaction du voyageur, est la principale cause de toutes les innovations si heureuses que l'on vient de vous signaler, on le remarque partout, dans les moindres détails; quelques exemples :

Nous savons tous avec quel soin nos chefs de gare s'attachent à remplir les compartiments; c'est certainement une mesure rationnelle, puisqu'elle réduit le poids mort transporté; mais comment admettre qu'une semblable considération ait pu échapper à nos prédécesseurs dans cette industrie? Or tous les wagons anglais, avec la même voie que la nôtre, la même entrevoie, par conséquent la même largeur possible de caisse, n'admettent que trois voyageurs sur une banquette de première, et toute personne, qui en fait la demande, peut avoir un compartiment entier pour *quatre* places. Quelle insouciance du poids mort! quelle recherche de l'agrément du voyageur!

La vitesse, qui n'est pas réservée, comme chez nous, aux grandes distances (des trajets de 60 à 70 kilomètres sont faits en une heure, Londres à Brighton), est obtenue, non-seulement par de fortes machines, mais surtout par une attention constante à éviter toute perte de temps. Vous avez entendu la description de ces freins puissants mis à la disposition des mécaniciens, et notre collègue M. Courras signale, dans son rapport à la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, ces parcours d'une heure et demie sans arrêt, la machine prenant de l'eau en marche dans de longs bacs placés à côté de la voie; il dit encore comment le temps d'arrêt aux embranchements est réduit par une disposition de wagons mixtes, contenant une caisse pour chaque classe et une pour les bagages, que l'on accroche au passage du train de la ligne principale à la gare de jonction [1].

Nous avons retrouvé dans toutes les gares principales les quais hauts, supprimés chez nous et que nous évitons de faire dans nos nouvelles lignes. Ils sont, il est vrai, gênants pour les employés, mais combien le voyageur y trouve des facilités pour chercher la place qui lui convient, pour entrer dans le wagon ou en sortir, et quelle perte de temps évitée!

Je ne fais que signaler les remarques suivantes : il n'y a plus en Angleterre de plaques tournantes sur les voies de services; chacun sait le bruit désagréable que font ces engins à l'entrée des trains. Or combien de nos chefs de gare déclareront qu'ils ne peuvent pas s'en passer! — Le mouvement de lacet et ces chocs si fatigants, à l'arrêt ou au démarrage, sont presque totalement évités par le soin mis à serrer à fond les ressorts d'attelage. — Les wagons-lits faisant régulièrement partie de la composition du train entre Londres et Liverpool, de minuit à six heures du matin, il est permis de venir se coucher avant le départ et de rester au lit après l'arrivée jusqu'à l'heure convenable pour faire ses courses; une simple rétribution de quelques shillings évite la peine de chercher un hôtel. Combien de nos voyageurs des trains-poste arrivant à Paris, à 4 et 5 heures du matin, useraient de cette disposition!

Nous avons pu constater la parfaite exactitude du rapport de M. Courras dans la description de ces gares, plaçant sur le passage du voyageur depuis son entrée tous les bureaux auxquels il peut avoir affaire sans jamais l'écarter de la direction

1. Ce rapport sera déposé aux archives de la Société.

à suivre pour arriver au wagon. Le parcours fait est environ 60 à 80 mètres, quand nos dispositions de gares nous obligent à en parcourir 3 à 400! A l'arrivée la comparaison est encore plus frappante : le long du quai de débarquement, dans la gare même, se tiennent les omnibus et les voitures, dans lesquels le voyageur porte facilement lui-même ses petits bagages! Mais ici nous touchons à une question d'une autre nature; les Compagnies disent que c'est l'absence d'octroi qui permet ces facilités. Et ces magnifiques hôtels, propriétés des Compagnies, où le voyageur trouve le plus grand luxe sans avoir besoin de sortir de la gare, élevés dans les quartiers les plus populeux auxquels le rail arrive par-dessus rues, maisons et même chemins de fer.

Il y aurait encore à s'arrêter sur l'usage si général de ces ingénieux appareils Armstrong qui augmentent tant la rapidité de la manœuvre de wagons tout en réduisant le nombre d'hommes nécessaire pour la faire; l'admission des deuxième et troisième classes dans les trains express et bien d'autres dispositions encore; mais je crains d'abuser de vos moments et je voudrais appeler votre attention sur l'emploi général, en Angleterre, des appareils de *Saxby-Farmer* pour la manœuvre des aiguilles.

Ces appareils ont été décrits, mais il faut les avoir vus fonctionner pour comprendre toute leur perfection, surtout pour les personnes qui ont eu occasion d'étudier des dispositions de voies dans une gare de quelque importance et se sont préoccupées de la vie des aiguilleurs.

Un seul homme, libre de toute préoccupation de se garer des trains qui circulent autour de lui, placé sur une passerelle au-dessus de tout le mouvement, tient par une série de leviers la clef de chacune des voies, et il ne peut pas donner accès à l'une d'elles sans s'être interdit toute manœuvre qui pourrait nuire à celle qu'il veut faire.

On nous pardonnera une petite satisfaction d'amour-propre, en rappelant que l'idée de la conjonction de l'aiguille et du disque est française et que, dès 1853, M. Vignère, conducteur de la voie du chemin de fer de Saint-Germain, dont j'étais chargé sous les ordres de M. Eug. Flachat, a reçu une médaille de la Société d'encouragement pour cette disposition. Mais combien ici l'usage qu'on en a fait a dépassé l'invention, comme nous étions loin alors de prévoir le parti qu'on pouvait en tirer!

Cet appareil, Messieurs, n'est en service régulier sur aucune de nos lignes en France. J'ai entendu dire qu'une de nos plus puissantes Compagnies en a fait venir, les a fait poser, mais lorsqu'elle a voulu en faire un usage régulier, le contrôle a répondu qu'il voulait voir comment l'appareil fonctionnait!

Il y a, Messieurs, dans cette réponse bien naturelle, tout un système auquel revient peut-être une large part dans notre lenteur regrettable à profiter des perfectionnements que fait naître chez nos voisins l'esprit de concurrence.

Je crois le contrôle une institution nécessaire, inhérente au régime que nous avons adopté; les avantages faits par l'État aux Compagnies entraînent des obligations de leur part qu'il faut faire remplir. Mais cette surveillance officielle, que l'État s'est réservée pour assurer l'exécution des cahiers des charges, ne comporte en rien le caractère de tutelle que l'on reconnaît au contrôle, et qui diminue considérablement la part d'initiative des Compagnies, au grand détriment de l'esprit industriel.

L'appareil qui nous occupe est établi dans toute l'Angleterre, fonctionne par cen-

taines dans Londres même, et une Compagnie demande au contrôle l'autorisation de l'employer ! Elle doit l'établir à ses risques et périls.

Je termine, Messieurs, en recherchant comment dans chaque pays on a donné satisfaction à ce développement si rapide, si considérable et si inattendu des transports par voies ferrées.

En Angleterre les directeurs de chemins de fer ont tout essayé, chaque idée nouvelle a été acceptée, étudiée et appliquée pour peu qu'elle présentât des avantages probables pour le public; il y a plusieurs lignes pour la même destination, et celui qui offre le plus de facilités voit sa clientèle augmenter.

Chez nous, la prudence est la loi, l'économie est la règle; celui qui oserait trop n'inspirerait plus de confiance; ce qui s'est passé dans les deux capitales est tout à fait caractéristique à ce sujet.

A Paris, des gares immuables, restant noblement à la place que leur a assignée, il y a 25 ou 30 ans, le décret de concession, quel que soit leur éloignement du mouvement des affaires; une seule et immense gare pour chaque Compagnie; lorsqu'un agrandissement est devenu indispensable, c'est en arrière de la façade première, en s'éloignant encore de la clientèle qu'il a été fait.

A Londres, c'est par des gares nouvelles que le développement s'est opéré; chaque Compagnie a plusieurs gares dans la ville; c'est un enchevêtrement de voies qui se coupent, se croisent, se raccordent au-dessus des rues et des maisons pour aller toujours plus près de la clientèle, jusque dans les quartiers les plus populeux, en pleine Cité.

Nous avons été frappés de ces dépenses considérables pour ce simple résultat : donner plus de facilités aux voyageurs, et nous avons trouvé que ces directeurs abusaient peut-être un peu de la confiance qu'ils inspiraient; mais en examinant de plus près les conditions dans lesquelles ils doivent se maintenir, on reconnait que, sans ce grandiose dans la conception, sans cette audace, le public se porterait ailleurs.

Je ne veux pas dire, Messieurs, que les hommes considérables qui sont à la tête de nos grandes Compagnies devraient prendre ces allures et entraîner leur Société dans ce genre de dépenses, peut-être un peu réclame; mais je voudrais voir plus grande chez eux la préoccupation de la comparaison que l'on est toujours porté à faire entre les systèmes adoptés par chacun des deux pays pour donner aux populations les avantages de ces admirables voies de communication.

Je voudrais que, toujours attentifs à ce qui se fait ailleurs, nous recherchions ce qu'il y a de meilleur, sans nous complaire dans ce que nous avons de supérieur et que je ne conteste pas.

Peu partisan de la concurrence, en fait de moyens de transport, parce que c'est toujours le public qui paie en fin de compte, je suis cependant forcé de reconnaître qu'elle excite beaucoup à la recherche du mieux, qui est la loi de la vie industrielle.

Le régime français des grandes Compagnies, associées à l'État, offre la sécurité dans les contrats, une réduction constante et définitive dans les tarifs qui a une grande importance commerciale; mais il est basé sur le monopole qui excite les exigences du public et provoque chez les agents la satisfaction, facile, des résultats obtenus, l'indifférence pour le mieux.

Nos directeurs doivent tenir leurs employés en garde contre la tendance, toute administrative, de trouver que l'on en fait toujours assez ! Ils doivent leur faire comprendre que, tout en apportant la plus grande attention à éviter les dépenses inu-

tiles, les Compagnies, associées à l'État, sont tenues de procurer, aux populations qu'elles desservent, tous les avantages dont jouissent les nations qui ont adopté le système de la libre concurrence.

En attendant que ce personnel, aussi capable que celui de nos voisins de trouver des procédés nouveaux, des dispositions ingénieuses, se soit mis à chercher les innovations, il ne faut plus qu'une invention heureuse soit introduite dans l'exploitation des lignes étrangères, sans qu'elle soit offerte à notre public.

Après l'exposé qui vous a été fait des améliorations que nous avons constatées, il faut avoir le courage d'avouer que nous avons, pour le moment, beaucoup à copier, et le faire sans hésitation ; mais il faut aussi reconnaître que la vraie cause de cette supériorité de nos voisins vient de la grande préoccupation qu'ils ont de rendre le voyage facile et agréable à l'industriel, et de satisfaire le voyageur.

Je m'abstiens, Messieurs, d'insister sur ce qu'on vous a dit du chemin de Festiniog, à voie de 0m.60 d'écartement des rails ; mon enthousiasme serait qualifié de parti pris ; mais retenez, je vous en prie, ces chiffres : 140,000 voyageurs et 160,000 tonnes de marchandises, faisant 20 kilomètres de parcours au moins ; plus cette déclaration unanime de douze chefs ou anciens chefs de service de chemins de fer : très-grande stabilité de la machine et des wagons à voyageurs à une vitesse de 40 kilomètres sur une voie de 0m.60 de large !

M. Gillot donne communication du résumé de son mémoire sur la Théorie de la chaleur, il indique qu'il a remis à la Société un mémoire complet qui pourra être consulté par les membres de la Société qui ne trouveront pas dans le résumé nécessairement très-restreint tous les développements que comporte une question aussi vaste.

Le but de ce mémoire est la détermination du principe de la chaleur, c'est-à-dire de sa nature, de sa cause et des lois auxquelles il est soumis. Il a été énoncé que l'étude et la solution de cette question avaient conduit : 1° à la conclusion que toutes les forces qui sollicitent la matière pondérable dans l'univers sont dues à une cause unique ; 2° à la connaissance des rapports qui lient la chaleur à cette cause ; 3° enfin à celle de cette cause elle-même.

Il a de plus été énoncé que cette première et principale solution fournissait l'explication d'un très-grand nombre de faits qui s'y rattachent et qui, jusqu'à présent, étaient restés à l'état de problèmes.

Le postulatum sur lequel est fondée l'argumentation qui a servi à faire ces preuves diverses se compose des trois propositions suivantes, qui peuvent elles-mêmes être prouvées, savoir :

1° La matière est impénétrable et inerte ;

2° La matière soumise à l'action de la pesanteur est composée d'atomes indivisibles, invariables dans leurs formes et dans leurs volumes ;

3° Il n'y a pas d'effets par influence, en d'autres termes, il n'y a pas de transmission de mouvement sans un agent matériel de cette transmission.

L'ordre de la discussion a été réglé par l'établissement des cinq cas généraux suivants de production de chaleur, comprenant toutes les manifestations possibles de chaleur, savoir :

1° Par l'effet d'un mouvement quelconque, ou de l'application mécanique d'une force ;

2° Par le phénomène auquel on donne spécialement le nom de combustion ;

3° Par les combinaisons chimiques;

4° Par la radiation solaire, stellaire et celle des autres corps, c'est-à-dire, par le rayonnement;

5° Enfin par les phénomènes électriques.

Il a été proposé les cinq exemples suivants du premier cas, savoir :

Choc d'un corps solide contre un corps gazeux, deux exemples:

1. Briquet à air;
2. Passage d'un bolide dans l'atmosphère;

Choc de deux corps solides, deux exemples, savoir :

3. Choc d'un boulet de canon contre un blindage d'acier;
4. Frottement d'un tourillon contre son coussinet;
5. Enfin, choc d'un solide contre un liquide.

A l'occasion du premier exemple, il a été fourni la preuve théorique de l'erreur de la loi de Mariotte, preuve déjà faite expérimentalement par M. Regnault. Non-seulement cette loi n'est vraie pour aucun gaz, mais encore l'écart entre le rapport vrai et le rapport indiqué par cette loi varie pour le même gaz avec la pression.

Dans la même discussion du briquet à air, il a été démontré l'erreur des trois propositions composant la loi de M. Hirn, savoir :

1° La transformation de la chaleur en mouvement;

2° Réciproquement la transformation du mouvement en chaleur;

3° La constance du rapport entre les quantités de chaleur disparues et les quantités de mouvement produites. Mais il a été fait réserve d'indiquer la rectification à faire à cette loi pour la rendre vraie.

L'examen des circonstances de l'expérience du briquet à air a conduit aux conclusions suivantes :

1° Les variations de volumes des gaz n'affectent pas la matière pondérable de ces gaz, mais seulement le fluide impondérable associé à leurs molécules, qui leur sert d'atmosphère et les relie entre elles;

2° La loi de Mariotte ne se vérifie avec aucun gaz;

3° Pour le même gaz, le rapport des pressions aux volumes n'est pas constant et varie avec les pressions;

4° Le rapport des pressions aux volumes est différent pour chaque gaz aux mêmes pressions, et dépend des proportions de la matière pondérable et du fluide impondérable associés dans ce gaz;

5° Aucune des trois propositions constituant la loi de M. Hirn, sur la transformation de la chaleur en mouvement et réciproquement, ne se vérifie;

6° Chaque gaz a sa loi particulière d'évolution de chaleur, se rapportant inversement à la loi de variation de volume de son fluide;

7° La chaleur, la lumière et l'élasticité ne sont pas des propriétés de la matière pondérable, mais du fluide impondérable associé à ses molécules, qui leur sert d'atmosphère et les relie entre elles;

8° Ce fluide n'est autre que le fluide électrique.

Le passage d'un bolide dans l'atmosphère, qui forme le second exemple du premier cas, a permis de démontrer que le principe nouveau de la chaleur, à savoir, le développement de son intensité en rapport inverse de la variation de volume

du fluide électrique, se vérifie aussi nettement que dans l'expérience du briquet à air.

Cet exemple a de plus fourni l'occasion de remarquer que la loi de M. Hirn ne se confirme pas plus que dans l'exemple précédent, et que la chaleur, au lieu de succéder au mouvement, se développe et s'éteint avec lui.

L'examen du troisième exemple du premier cas, le choc du boulet de canon contre un blindage d'acier, a mis non-seulement dans une évidence complète la vérité du principe nouveau, soit à la déflagration de la poudre, soit au choc du boulet, mais encore l'erreur de la troisième proposition de la loi de M. Hirn, relative à la constance du rapport entre le mouvement disparu et la chaleur apparue.

Cette discussion a de plus, et en même temps, fait ressortir la faible proportion de puissance utilisée, sur celle que développerait la combustion complète de la poudre. Le rapport de l'effet utile à la puissance produite dans l'hypothèse de combustion complète n'est que de $\frac{1}{256}$ dans l'exemple choisi.

Le quatrième exemple du premier cas, le frottement d'un tourillon sur son coussinet, a donné lieu aux observations déjà faites sur le choc du boulet contre un blindage d'acier, relativement à la vérité du principe nouveau. Il a été en outre remarqué qu'il faudrait dépenser, en faisant abstraction du coefficient pratique, pour rétablir le tourillon et son coussinet dans leur état primitif, exactement la même quantité de chaleur que celle qui s'est manifestée par leur usure, ce qui implique bien une relation entre le mouvement et la chaleur, mais exclut leur identité.

Le cinquième et dernier exemple du premier cas, choc d'un solide contre l'eau, présentait un fait négatif : absence presque complète de chaleur produite dans ce mouvement, par suite de l'incompressibilité de l'eau. C'est la confirmation éclatante du principe nouveau : Point de réduction de volume, point de chaleur produite.

Deux exemples du second cas, production de chaleur par la combustion, ont été examinés. Le premier se rapporte aux combustibles solides, le second aux combustibles gazeux.

Il a d'abord été observé que la combustion ne diffère pas d'une réaction chimique ordinaire, mais que son importance industrielle et aussi quelques considérations intéressantes à présenter sur la flamme avaient induit à lui consacrer une discussion spéciale.

En ce qui concerne les combustibles solides, il a été rappelé que dans leur combustion complète, c'est-à-dire dans leur transformation en acide carbonique et en eau, la chaleur développée est précisément le résultat de la réduction de volume de l'oxygène pour l'acide carbonique, et de celle de l'hydrogène et de l'oxygène pour la vapeur d'eau. Il a été fait à cette occasion la critique d'une fausse hypothèse accréditée sur l'oxyde de carbone. Il a été de plus noté comme faits d'une haute importance diverses réactions qui ont lieu soit dans la combustion, soit dans la distillation des combustibles solides et qui apportent un obstacle insurmontable à l'emploi en nature du bois et de la houille au haut-fourneau.

Il a été donné, d'après le principe nouveau et dans le double but de dissiper toute obscurité sur la question et de poser un élément de l'examen qui va suivre des particularités de la flamme, l'explication théorique de la manière dont naît, se propage et s'entretient la combustion. Cette explication apporte une confirmation nouvelle à la théorie.

Il a été démontré que la lumière Drummond n'est qu'un cas d'électricité qui pré-

sente une généralité absolue ; que la lumière et la chaleur de la flamme sont dues à la même cause, et que cette cause n'est autre qu'une accumulation d'électricité sur les molécules d'où résulte leur polarisation et la tension qui produit les effets lumineux et calorifiques observés.

Cet examen a conduit à exprimer un doute sur l'exactitude et la valeur du moyen employé dans la mesure des hautes températures. Car la question est de savoir si la température d'équilibre contractée par un corps réfractaire plongé dans un milieu serait la même pour des corps de caloricités différentes. Cette partie de la question se relie évidemment à celle de la composition simple ou complexe du fluide électrique. Il y aurait lieu de rechercher, dans le cas très-probable où le fluide ne serait pas simple, si les propriétés diverses des corps ne tiendraient pas à l'association avec la matière qui les compose de certaines parties du fluide différentes pour chaque corps, à l'exclusion des autres parties. La question de la forme de l'atome est connexe avec cette nature de considérations.

Il a été donné l'exposé théorique de la flamme. Il a été établi dans cet exposé que les manifestations lumineuses et calorifiques de la flamme sont identiques avec celles de l'expérience Drummund. C'est une concentration d'électricité qui reproduit les faits éclaircis par la théorie nouvelle. A cette occasion, la raison de la forme constamment ovoïde de la flamme a été expliquée, ainsi que toutes les autres circonstances observées dans la flamme.

Enfin on a rectifié l'erreur de l'interprétation qui a cours de l'action d'un courant d'air sur la flamme.

Il a été remarqué qu'aucun des détails touchés ne s'écarte des lois du principe nouveau.

En ce qui concerne le combustible gazeux, on a discuté comme type, pour tous les gaz combustibles, l'emploi au four à réverbère pour le travail du fer, de l'oxyde de carbone et des hydrocarbures gazeux. On a démontré l'erreur de l'équation de la chaleur lorsque la caloricité y figure comme une constante seulement, et l'on a prouvé que l'équation n'est vraie qu'en y introduisant un coefficient d'accroissement de caloricité, ce qui la change en une équation du second degré, au lieu du premier degré. On a admis provisoirement, et sauf à le prouver plus loin, ce coefficient comme étant entre de certaines limites égal par accroissement d'un degré de température au millième de la caloricité du gaz considéré. Cette dernière donnée a introduit une différence de cinquante pour cent dans le résultat de l'équation du cas discuté comme exemple.

Les considérations présentées dans cette discussion ont induit à émettre un deuxième doute qui revient, plus loin et plusieurs fois sur la question de savoir si tous les corps contractent bien réellement la température du milieu dans lequel on les plonge, et si ce phénomène lui-même n'est pas variable, suivant la nature du corps et l'espèce d'électricité qui lui est associée, en supposant complexe la composition de ce fluide.

Ces mêmes considérations ont permis de rectifier l'erreur commise par quelques personnes au sujet des prétendues dissociations dans les hautes températures des parties constituantes des gaz composés.

Il a été rapporté une expérience de fabrication de fer au four à réverbère, au moyen de gaz d'éclairage dans laquelle le déchet autre que celui des matières stériles a disparu à peu près, une qualité du produit supérieure aux qualités ordi-

naires a été obtenue, le tout avec une consommation en poids de gaz combustible de 31 centièmes du poids du fer fabriqué, consommation qu'on est en droit de considérer comme devant se réduire encore dans une marche régulière et non interrompue. Il est rappelé que dans cette expérience, toutes les observations précédemment faites sur les variations de température avec le volume des gaz, sur le phénomène Drummund et sur la différence de température des corps plongés dans un milieu, d'avec la température de ce milieu, se sont pleinement confirmées.

On a passé à l'examen du cas général de production de chaleur par les combinaisons chimiques. Le fait de contraction de volume et de dégagement d'électricité et de chaleur dans toute combinaison, sur lequel les chimistes et les physiciens sont d'accord sans exception, limitait la discussion à l'examen des conséquences de ce fait.

La première conséquence est que, dans tous les corps de la terre, la matière est associée dans l'état d'équilibre à une quantité normale d'électricité dont la proportion varie avec les différents corps. On a renvoyé à démontrer plus loin que cette loi s'étend à tous les corps de l'univers. (Voir radiation des astres.)

Il a été observé que la découverte de la composition complexe de l'électricité, des propriétés de ses parties et de leurs affinités diverses pour les différents corps, conduirait à la solution d'un grand nombre de questions.

La seconde conséquence est la confirmation de celle tirée de la discussion du briquet à air, que le fluide associé aux molécules des corps est l'électricité.

Cet examen a conduit à reconnaître la possibilité de déterminer les quantités de chaleur rendues sensibles dans les combinaisons, par la réduction de volume, et par suite les quantités théoriques de chaleur à dépenser pour isoler les corps de leurs combinaisons. Ce procédé d'argumentation a été appliqué à un exemple, celui du fer oligiste, ou peroxyde de fer, et l'on a trouvé que la quantité théorique de carbone nécessaire pour séparer une tonne de fer d'un minerai pareil, en se convertissant entièrement en acide carbonique, serait de 76 kilogrammes.

On a expliqué brièvement les causes de l'écart entre cette consommation théorique et la consommation réelle.

Les déductions tirées de l'examen des lois générales des réactions chimiques sont les mêmes que celles de tous les exemples précédemment discutés.

Rayonnement. — Il n'y a pas d'autre mode de transmission de chaleur que le rayonnement. La conductibilité n'est qu'un cas particulier de ce phénomène.

Les physiciens admettent que la chaleur et la lumière se transmettent à travers le vide. C'est une double erreur : 1° parce qu'il n'y a pas de vide dans l'univers ; 2° parce que si le vide existait la chaleur et la lumière n'y passeraient pas faute d'un agent de transmission.

Les expériences de transmission de chaleur et de lumière dans un espace vide de matière pondérable prouvent que la matière pondérable n'est pas l'agent de transmission de la chaleur et de la lumière, ce qu'on pouvait d'ailleurs déduire de ce que les atomes ne vibrent pas et ne peuvent par conséquent transmettre de vibrations.

On a rappelé trois causes principales qui compliquent les lois du rayonnement, mais en l'absence des perturbations étrangères le phénomène est soumis à la loi de la raison inverse du carré des distances.

Il a été remarqué que dans le cas traité, le principe nouveau, comme dans les exemples précédents, ne laisse place à aucune objection. Il a permis de donner de la double réfraction une explication différente de celle de Fresnel.

Radiation des astres. — Ce phénomène implique :

1° Que l'électricité existe dans ces corps, puisqu'ils possèdent deux propriétés de ce fluide; d'où la conséquence qu'ils sont composés de matière pondérable, ce que la gravitation nous apprend déjà et ce que confirme l'analyse spectrale. Le principe nouveau y gagne une preuve de plus.

2° Que l'espace est rempli par un fluide impondérable qui est l'agent de transmission des ondulations calorifiques et lumineuses émises par les astres.

Il a été observé qu'il ne saurait y avoir de matière pondérable dans l'espace, parce qu'elle se précipiterait sur les astres en vertu des lois de l'attraction; que par conséquent il faut qu'il y ait un agent spécial de transmission des ondulations de la lumière, de la chaleur et de l'action de la gravitation. C'est la preuve de l'existence du fluide qui remplit l'espace. Il a été prouvé que ce fluide ne saurait être ni chaud, ni lumineux, ni élastique.

Enfin on a observé que le fait de la décroissance de la température en s'élevant dans l'atmosphère même dans les régions équatoriales, est une complète confirmation du principe nouveau.

Électricité. — Il a été rappelé qu'on avait surabondamment démontré dans le cours de cette communication que la chaleur, la lumière et l'élasticité sont des propriétés du fluide électrique dont elles expriment la manière d'être; puis on a énoncé la proposition suivante comme corollaire :

« L'impulsion première étant admise, il n'existe pas d'autre agent, pas d'autre « cause de création, ou plus exactement, de transmission de mouvement que le « fluide électrique. »

Mais cette proposition a été démontrée directement pour les cas ordinaires par diverses considérations desquelles est résulté très-apertement que tout mouvement observé a pour point de départ une évolution électrique; puis on a abordé la question de la gravitation universelle.

Il a d'abord été rappelé l'identité absolue de certaines circonstances présentées par la cause de la gravitation et par l'électricité. Ainsi l'une et l'autre actionne la matière pondérable à distance et de la même manière, même à travers ce qu'on appelle le vide. Leur action commune et permanente sur la matière pondérable s'exerce en raison inverse du carré des distances, loi à laquelle sont soumises également les deux propriétés de l'électricité, lumière et chaleur que le vide n'intercepte pas non plus. En outre leur unique et commun agent de transmission est le fluide impondérable qui remplit l'espace. Enfin on a considéré la manière dont une molécule quelconque est sollicitée par la gravitation. L'ensemble de tous ces motifs a conduit à conclure l'identité de l'électricité et de la cause de la gravitation.

Cette conclusion est la confirmation éclatante de la théorie de la gravitation universelle à laquelle elle fournit la base qui lui manquait, la connaissance de sa cause.

Le principe nouveau affecte un très-grand nombre de questions dont il détermine ou modifie les solutions. On s'est borné à l'examen des trois suivantes, savoir :

1° Celle du principe des caloricités des corps simples et composés;

2° Celle de toutes les températures qui peuvent être produites et par conséquent de leurs limites;

3° Celle de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Principe des caloricités des corps simples et composés. — On n'est point encore parvenu à trouver le moyen de mesurer exactement les hautes températures. La raison en est l'ignorance de la cause et de la nature de la chaleur, et des lois qui la régissent. Cette première et grave difficulté en fait naître d'autres, parmi lesquelles au premier rang se place la détermination de la caloricité des corps simples et composés et de la loi de variation de cette propriété.

On peut reprocher aux praticiens de ne pas avoir mis à profit, dans l'application, les travaux de Petit et Dulong et de M. Regnault sur la chaleur. Il en est résulté dans les calculs des températures des erreurs qui vont jusqu'à doubler le chiffre réel de ces mêmes températures. Il a été remarqué que la chaleur étant un attribut exclusif du fluide électrique, la caloricité est une dépendance de l'électricité et que l'intensité de cette propriété dans les corps est en proportion exacte de la quantité d'électricité associée dans l'état normal à la matière de chaque corps; d'où il suit que l'on peut admettre, pour représenter les quantités d'électricité associées normalement aux corps, les chiffres qui expriment leurs caloricités et réciproquement.

Cette simple observation a conduit à conclure que la chaleur, la lumière et l'élasticité suivent dans les variations de leur intensité les variations du volume du fluide électrique et en sens contraire. Mais toutefois il a été noté que dans les corps liquides et solides la cohésion faisait obstacle à cette loi en la modifiant. On a fait remarquer que la disparition de chaleur observée dans les gaz dans le cas de dilatation et attribuée par quelques personnes à un prétendu travail intérieur, n'est autre qu'une diminution d'intensité résultant de la dilution du fluide dans un plus grand espace, et qu'une addition de chaleur avec volume maintenu constant accroît la température, mais non la caloricité.

On a prouvé que l'électricité est indissolublement associée à la matière pondérable, mais par quantités déterminées dans l'état normal et différentes pour chaque corps; que l'équilibre, lorsque quelque cause vient à le rompre, se rétablit toujours très-promptement, et qu'il est impossible de dépouiller les corps pondérables de leur électricité normale. La conséquence de ce fait est que l'absence de toute chaleur, ou l'état du zéro absolu, n'existe pas pour la matière pondérable.

Les diverses considérations motivées par l'examen de ce point du sujet ont conduit à admettre le chiffre de 1/1000e de la caloricité d'un gaz pour exprimer la variation de cette caloricité par semblable variation de volume et dans le même sens du fluide électrique. Ce chiffre dans les limites comprises entre le zéro conventionnel et les plus hautes températures réalisées dans les arts industriels correspond sensiblement, c'est-à-dire, de manière à ne pas entraîner d'erreur appréciable dans les applications, à la fois au millième d'accroissement de volume et à un degré de variation de température. A cet égard on a rappelé qu'on ne devait pas perdre de vue que chaque degré de température exigeait, pour être obtenu, une quantité différente de chaleur, ce qui résulte à la fois de la variation de caloricité et de l'erreur de la loi de Mariotte.

Ce chiffre que l'application justifie rencontre cependant des anomalies apparentes qui ont été éclaircies.

La caloricité des liquides ne présente pas de variations appréciables dans la pratique. Cela tient au peu de variabilité de leur volume.

La loi d'accroissement de caloricité des solides varie à l'infini avec les corps ; mais elle est affectée d'une raison beaucoup moins élevée que celle des gaz. La cause paraît être la cohésion de ces corps ; cependant aussi elle ne paraît pas être la seule. Il est probable que la composition complexe du fluide électrique et les affinités différentes de ses parties pour les corps suivant la nature de la matière de ceux-ci et la forme de leurs molécules, jouent un rôle important dans les phénomènes de cette classe. On ne peut guère espérer de théorie complète sur les caloricités avant que ces différents points ne soient éclaircis.

On a donné le coefficient d'accroissement de caloricité du fer, comme étant dans l'état actuel de la science d'une application plus commode et plus facile qu'aucun autre. Ce chiffre déterminé avec beaucoup de soin est de 0,000065 par degré de variation de température. Mais on a dit quelles causes peuvent affecter son exactitude, bien que dans la pratique il donne des résultats assez satisfaisants.

Températures. — On a rappelé que l'union indissoluble de l'électricité avec la matière pondérable entraîne la conséquence d'une tension électrique et par suite d'une certaine quantité de chaleur permanente dans tous les corps ; d'où il résulte que l'état du zéro absolu n'existe pas pour la matière pondérable. Mais de plus on a démontré directement l'erreur de la théorie qui place le zéro absolu à 273 degrés au-dessous du zéro conventionnel de la glace fondante. On a fait remarquer que toutes les données de cette théorie sont fausses, et que sa conséquence finale conduit à la négation de la matière.

On a rappelé que l'état du zéro absolu ne peut exister que là où il n'y a pas de matière pondérable, c'est-à-dire, dans l'espace où elle ne pourrait se maintenir sous l'action de la gravitation ; qu'ainsi l'état du zéro absolu n'est qu'une limite de température minima qui ne peut jamais être atteinte. Cette limite, loin d'être l'expression d'une réduction de volume, correspond à la dilatation maximum du fluide électrique.

La limite maximum de température est à l'opposé de la précédente, à la réduction du fluide à son minimum de volume. On verra plus loin que cette limite ne peut pas plus être touchée que l'autre.

On peut se rendre compte de la marche des températures dans les deux sens en tirant de l'équation de la chaleur $q = mtc$ la valeur de la température $t = \frac{q}{mc}$ et en faisant dans cette valeur croître la caloricité c de o à l'infini, et en la ramenant de l'infini à o.

La variation des caloricités met en évidence le peu de puissance des moyens à la disposition de l'homme pour produire de hautes températures par la combustion des gaz, puisque la température en croissant a pour effet de produire en même temps une dilatation qui la fait baisser, ce qui fait obstacle aux décompositions supposées par quelques personnes pour expliquer la faiblesse de la température véritable, comparativement au chiffre théorique.

Le moyen de combattre cet abaissement de température causé par la dilatation est évidemment la pression ; mais ce moyen, qui serait très-efficace au point de vue

de l'effet à obtenir, entraînerait la nécessité de faire une dépense de force précisément égale à la puissance expansive qu'on aurait à combattre, sans compter un coefficient qui accroîtrait cette dépense. De plus l'emploi de ce moyen serait limité par le défaut de résistance des matériaux dans les hautes températures.

Les hautes températures que l'on obtient par la combustion ne sont qu'un cas du phénomène Drummund, en d'autres termes, un cas de rayonnement.

Comme criterium du principe nouveau, on a démontré qu'il expliquait la température aux tuyères du haut-fourneau et celle développée dans le procédé Bessemer.

On a démontré également dans le même but, que le feu central et la température intérieure de la terre ainsi que celle des autres planètes de notre système, que l'incandescence du soleil et des étoiles sont dues à une cause permanente immuable et surtout invariable dans son intensité; que cette cause n'est autre que le fluide électrique; enfin que la perte de chaleur par voie de rayonnement dans l'espace n'existe pas, et que cette opinion n'est que le résultat d'une fausse appréciation; qu'ainsi toutes les hypothèses de refroidissement de l'univers et toutes les théories basées sur ce fait imaginaire n'ont aucun fondement, non plus que la conséquence qu'on en tire de l'extinction future de la chaleur, de la lumière et de la vie dans l'univers.

On a fait à cette occasion la preuve promise de l'impossibilité d'atteindre la limite maximum de température, en observant que c'est une question de pression en rapport direct avec la masse des astres, que cette masse n'ayant point de limite, la pression n'en peut avoir, ni par conséquent la température qui en résulte.

Enfin, par des considérations tirées des circonstances rencontrées dans le cours du cycle encore inconnu et parcouru par le soleil qui nous entraîne avec lui dans cette révolution, on a fourni l'explication des périodes alternatives de froid et de chaud des régions polaires, et des cataclysmes qui séparent ces périodes et qui se succèdent indéfiniment dans le même ordre. On a signalé les traces apparentes d'au moins huit de ces retours qui sont peut-être séparés entre eux par des milliards d'années. Mais à cette occasion on a constaté une fois de plus l'uniformité invariable des lois qui régissent la matière et l'unité du plan de l'univers.

Cette rapide revue a conduit à cette conclusion que toutes ces révolutions de la matière ne sont que le résultat des mouvements du fluide électrique et de ses évolutions calorifiques, ce qui fournit en outre une confirmation ultime et décisive du principe nouveau.

Théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur. — La théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur est fondée sur une erreur, la transformation de la chaleur en mouvement et réciproquement. Cette erreur est le résultat d'une fausse apparence. Mais ce qui précède en rend la rectification facile. Toutefois on a repris la démonstration déjà faite que la chaleur et le mouvement marchent ensemble, de la même manière et dans le même sens, ce qui permet de les prendre pour mesure l'un de l'autre, mais qu'elles sont deux choses différentes qui ne se transforment jamais l'une en l'autre. Elles ne se créent ni ne s'anéantissent; elles se déplacent, voilà tout, et restent sans jamais se confondre : deux propriétés distinctes du fluide électrique.

On a rappelé que le mouvement dont un corps peut être animé n'a point pour mesure la chaleur qui peut avoir été développée dans ce corps par suite de ce mouvement, parce que celle-ci dépend de la quantité de fluide électrique associée à la matière pondérable du corps, et réciproquement qu'une quantité de chaleur connue

dont un corps serait affecté n'indiquerait qu'un faux chiffre du mouvement correspondant dans ce corps à cette chaleur. A ce sujet on a fait cette observation spéciale, que le mouvement et la chaleur étant des attributs du fluide électrique, ne peuvent s'évanouir que par leur transmission à des quantités égales du même fluide, ce qui est une autre forme du principe de l'immutabilité de la nature des choses dans l'univers.

La rectification nécessaire pour rendre vraie la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur, en admettant le chiffre de 425 kilogrammètres fourni par M. Joule comme la mesure d'une calorie, se trouve exprimée par la proposition suivante :

« L'équivalent mécanique de la chaleur est la quantité de mouvement qui pro-
« duirait une contraction du fluide électrique correspondant à la manifestation
« d'une calorie. Cette quantité de mouvement représentée par la force expansive
« ou la détente du fluide ainsi contracté élèverait un poids de 425 kilogrammes à
« un mètre de hauteur. »

MM. Anthoni, Évrard, Helson, Larsen, Thoyot et Thurston ont été reçu membres sociétaires, et M. Plichon, comme membre associé.

MÉMOIRE

SUR LA

RECONSTRUCTION DU PONT D'ANDÉ

SUR LA SEINE

Par M. René Bonnin.

EXPOSÉ

Les ponts d'Andé, sur la Seine, ont été livrés à la circulation le 29 décembre 1861.

Ils servent de passage au chemin de grande communication n° 11, de Louviers à Ménesqueville, et relient les communes d'Andé et de Saint-Pierre-du-Vauvray, situées, la première sur la rive droite, la seconde sur la rive gauche.

Ces deux ponts sont séparés par une île de cent mètres environ de longueur.

L'un de ces ponts, celui de Saint-Pierre, se compose de trois arches métalliques et est jeté sur le bras gauche, réservé à la navigation.

Le pont d'Andé se compose de quatre arches, et est situé sur le bras droit. (Pl. 74, fig. 1.)

A l'approche de l'armée allemande, le 6 décembre 1870, l'autorité militaire française, afin d'intercepter le passage de la rive droite de la Seine sur la rive gauche, fit sauter le pont de quatre arches.

Décision du Conseil général pour la reconstruction du pont. — Dans une délibération en date du 31 octobre 1871, le conseil général décida la reconstruction du pont d'Andé, dans le système de M. Georges Martin, ingénieur-constructeur à Paris; mais ce travail fut retardé par la question de savoir si le pont à reconstruire servirait en même temps au passage de la route et du chemin de fer d'intérêt local de Saint-Pierre aux Andelys.

Établissement d'une passerelle provisoire. — Aussi, dans une délibération en date du 20 février 1872, la commission départementale décida-t-elle la construction d'une passerelle provisoire en bois, qui fut livrée à la circulation le 19 juin suivant. (Voir ma notice sur la construction d'une passerelle provisoire en bois, sur la Seine, à Andé.)

La question du passage du chemin de fer résolue négativement, on s'occupa de suite de la reconstruction du pont; et, conformément au vœu du conseil général, un marché fut passé avec la maison G. Martin, le 9 juin 1873.

État du pont au commencement des travaux. — Les travaux ont commencé le 8 septembre suivant.

A cette époque, il ne restait de l'ancien pont que les culées, dont quelques parties seulement étaient endommagées, et deux piles, qui, lors de la chute des arcs, avaient pris une inclinaison assez prononcée vers Andé. La troisième pile, celle qui avait été minée, était entièrement détruite, et il ne restait au-dessus de l'eau qu'une assise complétement disloquée et couverte de débris de toute sorte.

Toute la partie métallique s'était effondrée dans la Seine. Elle en fut retirée, ainsi que les pierres de la troisième pile, dans le courant de l'année 1872.

Description générale du pont à reconstruire. — Le Conseil général ayant décidé que le pont serait reconstruit avec ses dimensions primitives et suivant le même principe, c'est-à-dire avec arcs métalliques en fonte, on devait démolir les maçonneries des piles restant encore debout, visiter les fondations de ces piles, s'assurer de leur état d'entretien et reconstruire ensuite, en se servant de tous les matériaux provenant des démolitions et qui pourraient être réemployés. Quant aux travées, elles devaient être en fonte avec chaussée supportée par des voûtes en briques reposant sur des poutrelles en fer; ces travées devaient conserver la même disposition générale que celles du pont primitif, et on ne devait y apporter que les quelques modifications de détails indiquées par l'expérience acquise pendant les treize années qui se sont écoulées depuis la construction du premier pont.

La chaussée est réglée à la cote 15^{m},85 (nivellement général de la Seine) et est parfaitement de niveau sur toute la longueur du pont; elle a une largeur totale de 5^{m},35, et est limitée de chaque côté par un trottoir de 1^{m},325 de largeur : ce qui donne une largeur totale du pont entre parapets de 8 mètres.

Nous observerons dans la description des différentes opérations la même marche que celle qui a été suivie pendant les travaux : nous commencerons par indiquer les moyens employés pour la démolition au-dessus et au-dessous de l'eau, le système suivi pour la reconstruction

des piles; nous ferons ensuite une description exacte de toutes les parties qui composent l'œuvre, et nous donnerons enfin les calculs qui ont servi à l'établissement du projet et le résultat des épreuves; ces dernières ont été faites avec un soin tout particulier, et ont permis d'arriver à des résultats réellement intéressants.

La Seine, à l'endroit où le pont est établi, a une largeur d'environ 130 mètres au niveau des eaux ordinaires, c'est-à-dire à la cote $7^m,14$; la profondeur moyenne d'eau est d'environ cinq mètres; le lit du fleuve, assez solide, est cependant recouvert d'une couche de sable et de gravier mélangés, qu'il fallait traverser avant d'atteindre une base assez résistante pour y appuyer les piles. Les plus basses eaux, qui correspondent au niveau de la retenue de Poses, atteignent la cote de $6^m,67$, et les plus hautes eaux, celles de la crue de novembre 1872, ont atteint la cote de $11^m,70$, c'est-à-dire, à quelques centimètres près, la hauteur des naissances des arcs en fonte : ce qui donne une variation maxima de niveau de $5^m,03$. La partie supérieure des caissons qui entourent les piles a été réglée à la cote $6^m,39$, c'est-à-dire à $0^m,28$ au-dessous du plan d'eau de la retenue de Poses.

CHAPITRE PREMIER

Démolition.

§ 1er. — Démolition au-dessus de l'eau.

Pile n° 3. — La démolition jusqu'au niveau de l'eau de ce qui subsistait de cette pile s'est effectuée du 8 au 11 septembre.

La plupart des pierres avaient été brisées par l'explosion de la mine; elles ont été transportées sur le chantier au moyen d'un bac et mises en dépôt pour servir au remplissage des piles.

Pile n° 2. — La démolition de la pile n° 2, qui subsistait tout entière, a été commencée le 12 septembre. Elle fut interrompue du 15 au 22 par la construction d'une chèvre destinée à enlever les parapets et les pierres de gros appareil, qui forment les faces, les avant et arrière-becs des piles.

Cette chèvre (pl. 75, fig. 11) se compose de deux parties: 1° d'un bateau de 20 mètres de longueur sur 5 mètres de largeur; 2° de deux montants de 12m,20 de hauteur et de $\frac{38}{18}$ d'équarrissage, fixés à l'avant du bateau au moyen d'une pièce transversale de $\frac{30}{30}$ disposée au fond. Ces montants sont inclinés de façon à ce que, l'avant touchant à la pile, leur sommet surplombe le parapet.

Ils sont maintenus par des haubans de 25 mètres de longueur et de $\frac{38}{18}$ d'équarrissage, boulonnés à l'extrémité supérieure des montants, et, à l'arrière du bateau, sur une pièce de bois transversale de $\frac{22}{22}$ fixée aux carlingues.

Les quatre pièces principales sont reliées par deux contre-fiches de 9 mètres de longueur et de $\frac{30}{15}$ d'équarissage, retenues à leur partie inférieure par une pièce transversale fixée sur le bordage, et sont boulonnées aux montants et aux haubans.

La démolition, reprise le 22 septembre, a été achevée le 12 octobre

jusqu'au niveau de l'eau, au moyen de l'appareil que nous venons de décrire.

Les pierres de taille, dont les mortiers avaient été minés au ciseau, étaient enlevées à la louve au moyen d'une élingue passant sur un palan et enroulée sur un treuil installé sur le bateau.

Les moellons piqués et de remplissage étaient descellés avec des pinces, et enlevés dans des caisses par le même procédé.

Les matériaux ainsi extraits étaient déposés dans un bac et transportés au chantier, où l'entrepreneur devait les ranger par assises, afin de les reprendre lors de la reconstruction et de les replacer à l'endroit qu'elles occupaient primitivement. Les pierres dont les épaufrures étaient trop considérables ne devaient pas être réemployées.

Les moellons de remplissage furent emmétrés par pile.

Pile n° 1. — Le 26 septembre on commença la démolition de la pile n° 1. Cette opération s'effectua comme pour la pile n° 2, et le 17 octobre elle était achevée jusqu'au niveau de l'eau.

Les seules pierres d'appareil endommagées dans les piles étaient les pierres de retombées des arcs et les parties droites du cordon.

§ 2. — Démolition au-dessous de l'eau.

Pendant la démolition des piles jusqu'au niveau de l'eau, on s'aperçut que les fissures des parements se continuaient à l'intérieur et dans les assises au-dessous de l'eau. Il était donc nécessaire de démolir ces assises et de reconnaître si les fondations elles-mêmes n'avaient pas souffert.

Nous allons donc, avant d'entrer dans les détails, indiquer d'abord le système suivi dans les fondations des piles du pont primitif, et ensuite les dispositions générales prises pour en vérifier avec soin l'état actuel, au moment de la reconstruction.

Description du système de fondation primitif. — Le pont d'Andé rentre dans la catégorie des ponts fondés sur terrains incompressibles, mais affouillables (pl. 74, fig. 1 et 2); il est fondé sur pilotis de $0{,}30 \times 0{,}30$ d'équarrissage, reliés à leur partie supérieure par un grillage formé des pièces de chêne de $0{,}30 \times 0{,}30$, et le tout est recouvert d'un plancher également en chêne de $0{,}22 \times 0{,}11$. Ce plancher, réglé à la cote moyenne de $5^m{,}38$ (nivellement général de la Seine), sert à supporter la maçonnerie des piles, et le système général de pilotis est relié par une masse compacte d'enrochements s'élevant, depuis le lit de la Seine, jusqu'à une hauteur de $0^m{,}90$ en contre-bas du plancher; sur ces blocs d'enrochement, et entourant le système général des pieux, repose un caisson

étanche sans fond, de $2^m,71$ de hauteur et à fruit de $0^m,05$ par mètre. Ce caisson, qui, dans le travail primitif, a été recépé à la cote $6^m,39$, n'a plus qu'une hauteur totale de $2^m,71$; il avait pendant les travaux de construction du premier pont une hauteur de 5 mètres et servait de batardeau, à l'intérieur duquel on a pu couler le béton au-dessous du grillage jusqu'au niveau supérieur de l'enrochement et faire ensuite les épuisements nécessaires pour la construction du socle de la pile.

Le caisson recépé, on a entouré le tout de nouveaux enrochements, afin de garantir la pile contre tout danger, dans le cas de crues ou de débâcles de glaces. Nous devons ajouter que les pilotis forment, dans le sens transversal du pont, onze files espacées de $1^m,235$ d'axe en axe, dans le sens longitudinal, et cinq files espacées de $0^m,90$.

Dispositions générales admises pour la démolition et la reconstruction au-dessous de l'eau. — Le niveau du grillage se trouvant à la cote $5^m,38$ et les eaux ordinaires de la Seine étant en moyenne à la cote $7^m,44$, hauteur qu'elles ont, du reste, conservée pendant l'hiver 1873-74, il fallait donc, dans l'état ordinaire des eaux, pour atteindre et vérifier le grillage, épuiser à une profondeur d'environ 2 mètres au-dessous des eaux ordinaires ; il y avait de plus à craindre une crue, les travaux devant se faire pendant l'hiver 1873-1874; enfin il fallait employer un système tel, que pendant les épuisements on n'eût pas à redouter les infiltrations des eaux de la Seine à travers l'enrochement, infiltrations qui auraient pu traverser le béton sur lequel repose le plancher, ou passer entre les madriers du caisson.

Après de nombreuses études comparatives et un mûr examen, on a cru devoir s'arrêter au système général suivant :

La pile et le caisson primitif (pl. 74, fig. 1 et 2) ont été entourés d'une enceinte, formée de pieux et palplanches en sapin enfoncés dans le lit de la Seine. L'espace laissé libre entre ce caisson et le massif ancien, préalablement dragué sur toute sa base, a été rempli de béton arrasé à la cote $6^m,39$, c'est-à-dire au niveau de recépage du caisson primitif : c'est ce massif de béton qui devait empêcher l'infiltration des eaux en dessous du grillage.

A la partie supérieure de cette enceinte en béton on a établi un batardeau provisoire, formé à l'extérieur par la nouvelle enceinte générale de la pile et à l'intérieur par un caisson reposant sur le béton et arrasé, comme le caisson extérieur, à la cote $8^m,69$, c'est-à-dire à $1^m,25$ au-dessus des eaux ordinaires. L'espace laissé libre entre ces deux caissons devait être rempli de terre bien pilonnée.

Les travaux étant terminés et les maçonneries de la pile sorties de l'eau, ce dernier batardeau temporaire devait disparaître et tout le massif général servant de base à la pile devait être arrasé à la cote définitive de $6^m,39$, c'est-à-dire au niveau de la partie supérieure du béton.

Ce système de fondation, qui remplissait parfaitement toutes les conditions dont nous avons parlé en commençant, aurait eu cependant l'inconvénient d'être submergé dans le cas d'une crue comme celle de 1872, qui, le 18 décembre de cette même année, avait atteint la cote 11ᵐ,70, c'est-à-dire 5ᵐ,32 au-dessus du plancher des piles : c'était son seul inconvénient, puisqu'on avait l'intention de poursuivre les travaux pendant l'hiver; mais il est bien rare que des crues aussi exceptionnelles se reproduisent deux années de suite, et les dépenses exigées par un pareil batardeau auraient été au-dessus de tous les bénéfices qu'on aurait pu en attendre : on consentait donc à l'interruption des travaux, dans le cas où une crue aurait dépassé la hauteur de 8ᵐ,50.

On n'a heureusement pas eu cet inconvénient, puisque l'hiver 73-74 a été on ne peut plus favorable, les eaux s'étant toujours maintenues à une hauteur moyenne de 7ᵐ,44, et la température ayant toujours été très-douce.

Maintenant que nous avons donné la description générale du système suivi pour la démolition et la reconstruction des piles au-dessous du niveau des eaux, nous allons reprendre le travail en détail, en expliquant les différentes phases des opérations.

Dragage de l'enrochement des piles. — Pour permettre le fonçage des pieux et des palplanches de l'enceinte extérieure du nouveau batardeau, il a fallu draguer les enrochements des piles jusqu'à une distance de 1ᵐ,50 de la moise supérieure des anciens caissons.

Ce travail a été effectué du 20 octobre au 13 novembre, au moyen d'une drague à vapeur à une seule élinde, appartenant à MM. Canappeville et Denuelle, entrepreneurs à Paris.

Armature de la passerelle. — Sur les côtés et à l'aval des piles, les dragages furent faciles à exécuter; mais l'opération fut contrariée à l'amont par le voisinage de la passerelle, située à peu de distance du pont (12ᵐ,10 d'axe en axe).

En effet, en face de chaque pile correspondait une travée, dont on dut enlever les contre-fiches et les moises, pour permettre l'approche de la drague.

Pour éviter les accidents qui auraient pu résulter de la suppression momentanée des contre-fiches, on a renforcé chaque longrine au moyen d'une armature en fer (pl. 75, fig. 9).

Cette armature se compose pour une longrine de deux tiges horizontales de 3 mètres de longueur sur $\frac{60}{20}$ articulées, à chacune de leurs extrémités, avec deux tirants de 2ᵐ,37 boulonnés sur la longrine près des poteaux de la passerelle. Le boulon qui forme, à chaque extrémité des tiges horizontales, l'articulation avec les tirants, a 0ᵐ,40 de longueur

et traverse un poinçon en bois de sapin de $0^m,70$ de longueur sur $\frac{20}{30}$ d'équarrissage. La butée des poinçons sur la longrine est assurée par des cales fortement serrées.

Enceinte extérieure. Battage des pieux, palplanches. Pose des moises. — Les pieux et palplanches ont été battus avec une sonnette à déclic, installée sur un bateau et mue par une machine à vapeur avec treuil d'embrayage. Le mouton était du poids de 500 kilogrammes et on enfonçait neuf pieux par journée de 10 heures et 25 palplanches (pl. 75, fig. 10).

Les dragages une fois terminés, on put commencer la construction des batardeaux autour des piles.

L'enceinte extérieure de ces batardeaux est (pl. 74, fig. 1 et 2) formée par une file de pieux de sapin, battus de chaque côté des piles à une distance de $4^m,50$ de leur axe longitudinal; et, à l'aval, à une distance de 9 mètres de l'axe transversal.

A l'amont, à cause du voisinage de la passerelle, on dut modifier la disposition du batardeau : au lieu d'avoir la forme rectangulaire, comme à l'aval, on lui donna la forme d'un demi-hexagone.

L'enceinte extérieure était formée par vingt-sept pieux, y compris deux de la passerelle, de $\frac{32}{32}$ en moyenne d'équarrissage, et de palplanches en sapin de $\frac{11}{30}$. Les pieux ont 10 mètres de longueur en moyenne avec environ 3 mètres de fiche, et les palplanches 9 mètres de longueur et $2^m,15$ de fiche.

Les pieux, espacés de 2 mètres en moyenne, sont reliés par trois cours de moises en sapin de $\frac{15}{30}$. Le dessus des moises inférieures, qui sont simples, est à la cote $3^m,34$, c'est-à-dire à $8^m,26$ au-dessous des retombées des arcs; le dessus des moises intermédiaires, qui sont doubles, et qui après le recépage des batardeaux doivent servir de moises supérieures, est à $3^m,05$ au-dessus des premières, c'est-à-dire à la cote $6^m,39$.

Enfin le dessus des moises supérieures, doubles également, est à $2^m,25$ au-dessus du niveau atteint par l'eau pendant le travail, c'est-à-dire à la cote $8^m,64$.

Les enceintes extérieures des trois piles, commencées le 18 novembre, étaient terminées le 3 décembre pour la pile n° 3, le 30 pour la pile n° 2, et le 11 janvier 1874 pour la pile n° 1.

Enrochements. — Aussitôt l'enceinte extérieure de chaque pile terminée, on a immergé de l'enrochement jusqu'au niveau des moises intermédiaires.

Dimensions approximatives des moellons. — Les moellons immergés avaient en moyenne $0^m,30$ de côté et cubaient $0^{mc},027$.

Béton. — Pendant que l'on immergeait l'enrochement autour de l'enceinte, on coulait le béton dans l'intérieur.

Ce béton était composé de $0^m,85$ de caillou, de $0^m,06$ et de $0^m,50$ de mortier de chaux hydraulique de Bougival, additionné de ciment de Boulogne.

La chaux de Bougival, employée dans la fabrication des mortiers à béton, a été essayée avec soin avant son emploi, et a donné d'aussi bons résultats que celle de Senonches soumise aux mêmes épreuves.

Le mortier est lui-même formé de 1 mètre de sable, $0^m,50$ de chaux, et $0^m,10$ de ciment pesant 120 kilogrammes.

Le béton a été coulé dans les trois piles jusqu'à $2^m,80$ au-dessous du recépage de l'enceinte extérieure, c'est-à-dire jusqu'à la cote $5^m,89$.

De cette façon, l'intervalle laissé entre l'ancienne pile et l'enceinte extérieure était complétement rempli d'un massif imperméable, reposant sur l'ancien enrochement.

Le béton, fabriqué sur la berge dans une bétonnière en tôle, dans l'intérieur de laquelle se croisaient en tous sens des tiges de fer, était apporté au moyen de brouettes, sur un plancher volant disposé sur les caissons des piles.

Arrivé sur ce plancher, il était immédiatement chargé dans une caisse en tôle demi-cylindrique, et cette caisse descendue à fond était ouverte sous l'eau au moyen de crochets que des hommes placés sur le plancher manœuvraient avec des cordages.

Le béton a été coulé en décembre 1873 et janvier 1874. On en immergeait en moyenne 30 mètres cubes par jour.

Enceinte intérieure. — Le béton coulé jusqu'à la hauteur fixée, c'est-à-dire jusqu'à la cote $5^m,89$, on a posé l'enceinte intérieure qui devait reposer sur ce massif.

Cette enceinte, qui avait exactement la forme de l'ancien caisson (pl. 74, fig. 1 et 2), était terminée à l'amont et à l'aval par un demi-hexagone, et se composait, pour chaque pile, de 28 poteaux de $3^m,40$ de hauteur et de $\frac{20}{20}$ d'équarrissage, espacés de $1^m,40$ en moyenne, et reliés à leur partie supérieure par un cours de doubles moises de même équarrissage.

Des madriers étaient cloués horizontalement sur les poteaux.

L'enceinte intérieure avait $6^m,40$ de largeur et 15 mètres de longueur : de sorte que, sur les côtés des piles, le batardeau avait $1^m,30$ de largeur, et $1^m,50$ à l'amont et à l'aval.

L'écartement des deux enceintes était maintenu par des étrésillons de $\frac{22}{22}$, boulonnés sur les moises supérieures de chacune d'elles.

Béton. — Afin d'empêcher l'infiltration de l'eau au-dessous de l'enceinte intérieure, on coula du béton entre les deux enceintes et entre l'enceinte intérieure et l'ancien caisson, jusqu'au niveau du dessous des moises intermédiaires, c'est-à-dire jusqu'à la cote 6m,39, hauteur à laquelle devait être recépé le caisson définitif : de cette façon le pied de l'enceinte intérieure se trouvait noyé dans un massif imperméable.

Terre des batardeaux. — L'intervalle entre les deux enceintes, au-dessus du béton dont nous venons de parler, a été rempli de terre fortement pilonnée.

Ces différents travaux ont été terminés, pour la pile n° 3, le 22 janvier 1874; pour la pile n° 2, le 10 février; pour la pile n° 1, le 24 février.

Épuisements. Enlèvement des assises au-dessous de l'eau. — Le batardeau une fois établi à chaque pile, restait à faire les épuisements nécessaires pour enlever les assises et les décombres qui pouvaient se trouver au-dessous du niveau des eaux jusqu'au grillage.

Pile n° 3. — On s'est servi pour cela, et à chaque pile, d'une pompe système Farcot[1]; on a pu ainsi, à la pile n° 3, abaisser le niveau de l'eau jusqu'au-dessous du grillage, dont la cote est 5m,45, c'est-à-dire à 2m,15 au-dessous du niveau atteint par les eaux de la Seine pendant le travail.

Toutes les assises ont été enlevées jusqu'au grillage, sauf les avant et arrière-becs du sous-socle, du socle et de la première assise, toutes ces pierres étant restées intactes et aucune fissure n'ayant été remarquée. Les assises d'avant et d'arrière-becs avaient seulement été écartées parallèlement par l'explosion de la mine, d'environ 0m,14; on enleva les décombres et les pierres endommagées, et on reconnut que le plancher en chêne (5m,455) qui supporte la pile, et le caisson en même matière qui entoure la fondation n'avaient subi aucune avarie : ils étaient aussi intacts que le jour où ils avaient été posés.

Ce travail de démolition a duré du 22 au 30 janvier 1874.

1. Ces pompes, établies sur un bateau, étaient composées de deux corps de 0m,60 de diamètre et de 0,200 de course; elles faisaient 65 révolutions par minute, en épuisant 400 mètres cubes à l'heure, à la profondeur moyenne de 2 mètres; la locomobile qui actionnait ces pompes, au moyen d'une courroie, était d'une force moyenne de 10 chevaux; le tuyau d'aspiration avait 0m,28 de diamètre et celui de refoulement 0m,40; un réservoir d'air était installé sur le tuyau d'aspiration et sur le tuyau de refoulement.

Pile n° 2. — A cette pile, une seule pompe n'a pu suffire pour abaisser le niveau de l'eau jusqu'au grillage (5^m,389); il a été nécessaire d'employer deux pompes Farcot.

Le plancher, le caisson, ainsi que le socle et la première assise, étant intacts, ont été conservés en entier.

La démolition au-dessous de l'eau s'est effectuée du 9 au 18 février.

Pile n° 1. — Deux pompes ont également servi à l'épuisement de l'eau dans cette pile : le plancher (5^m,35), le caisson étant intacts ainsi que le libage et le socle, qui n'avaient aucune fissure, on les a conservés; les avant et arrière-becs de la première assise, étant en parfait état, ont également été conservés.

Le travail a duré, dans cette pile, du 26 février au 3 mars.

CHAPITRE II

Reconstruction.

§ 1er. — Reconstruction au-dessous de l'eau.

Nous venons de dire que les fondations des piles avaient été reconnues intactes : on pouvait donc reprendre immédiatement la reconstruction de ces piles; on se mit à l'œuvre en réemployant la plupart des anciennes pierres, sauf dans la pile n° 3, dont une grande partie des assises au-dessous de l'eau avaient souffert. Les maçonneries des quatre premières assises, c'est-à-dire jusqu'au niveau ordinaire de l'eau, ont été faites avec le mortier de chaux et ciment employé pour le béton, afin de hâter la prise de ces maçonneries (1 mètre de sable, $0^m,50$ de chaux et $0^m,10$ de ciment de Boulogne).

Le travail de reconstruction au-dessous de l'eau a été effectué : dans la pile n° 3, du 30 janvier au 7 février; dans la pile n° 2, du 18 au 24 février; dans la pile n° 1, du 3 au 7 mars.

C'est à ces différentes époques qu'ont également cessé les épuisements dans les caissons.

§ 2. — Reconstruction au-dessus de l'eau.

1° MAÇONNERIES.

Réparation des culées. — Les deux culées avaient subi des avaries par suite de la chute de la partie métallique : les sommiers sur lesquels s'appuient les arcs et les cordons avaient été brisés.

Le travail de réparation fut long et difficile, à cause des grandes dimensions des pierres à enlever et à replacer et de l'obligation de ne pas démolir les assises voisines de pierre de taille et de moellon piqué, qui étaient intactes.

La restauration de ces deux culées s'effectua simultanément et dura du 18 octobre au 1er décembre 1873.

Les pierres qui ont servi à la réparation de ces culées provenaient, soit des piles, soit des culées elles-mêmes; elles étaient choisies parmi celles qui ne pouvaient être réemployées aux endroits d'où elles sortaient, et durent subir une retaille complète.

La maçonnerie était faite avec du mortier de chaux hydraulique de Bougival et du sable de Seine (1 mètre de sable et 0^m,50 de chaux).

Le derrière des sommiers a été soigneusement rempli avec une maçonnerie de moellon ordinaire et de mortier de ciment et sable, formé de 0^m,50 de ciment de Boulogne et de 0^m,80 de sable.

Piles. — La reconstruction des piles au-dessus de l'eau s'est effectuée immédiatement après l'achèvement des assises inférieures.

Les maçonneries ont été faites avec du mortier de chaux hydraulique et de sable de Seine, le même que celui qui avait été employé aux culées ; le mortier de ciment et sable n'a servi que dans la maçonnerie de remplissage derrière les sommiers qui devaient recevoir les retombées des arcs.

Comme nous l'avons dit en commençant, les piles ont été reconstruites semblables aux anciennes ; les vieilles pierres ont été réemployées partout où il a été possible de le faire : la pile n° 3 seule est entièrement neuve.

Description d'une pile. — Le corps des piles (Pl. 74, fig. 1 et 2) a une hauteur totale de 5^m,410 dans la pile n° 3, du grillage au couronnement, 5^m,470 dans la pile n° 2, 5^m,51 dans la pile n° 1, et est monté avec un fruit de 0,05 ; à la partie supérieure, il a 11^m,70 de longueur et 3 mètres de largeur.

Il se compose de 10 assises de 0^m,50 de hauteur et d'un socle dont la hauteur varie dans chaque pile, de façon que les naissances soient parfaitement de niveau : car il faut se rappeler que les planchers du grillage avaient été placés, dans le travail primitif, à des hauteurs un peu différentes (écart maximum 0^m,10).

Dans la pile n° 3 seule, il y a deux socles et seulement neuf assises.

Les avant et arrière-becs sont en pierre de Tessancourt, et les parements droits sont en moellon piqué de Vernon.

Le corps de la pile est surmonté d'un couronnement de 0^m,61 de hauteur en pierre de Tessancourt ; cette assise a 12^m,20 de longueur et 3^m,30 de largeur.

Les avant et arrière-becs sont surmontés par des demi-cônes, et au-dessus de cette assise de couronnement reposent les sommiers taillés suivant le rayon des arcs et fortement contre-butés par des entre-sommiers également en pierre de Tessancourt.

Les parements entre les sommiers sont formés d'assises de moellon piqué, dont l'inclinaison est parallèle à ceux-ci ; la partie supérieure des sommiers est à 1^m,45 au-dessus du couronnement. Au-dessus de ces assises s'élève un massif de maçonnerie de 8^m,70 de longueur, sur 2 mètres de largeur et 2^m,28 de hauteur. Les parements de face sont en pierre de Tessancourt, et les parements de côté en moellon piqué,

avec une chaîne en pierre de Tessancourt, au-dessus des sommiers supportant l'arc intermédiaire.

Le remplissage des piles est en moellon brut de Vernon.

C'est jusqu'à ce niveau ($15^m,20$) que furent successivement montées les trois piles, avant de recevoir la partie métallique.

La partie de la pile n° 3, au-dessus de l'eau, a été construite du 7 février au 5 mars, puis du 9 avril au 29.

Celle de la pile n° 2, du 24 février au 11 avril.

Enfin celle de la pile n° 1, du 7 mars au 4 avril.

Description des cintres. — Dès que les maçonneries furent achevées, les cintres pour le montage des fontes ont été établis.

Les deux premières travées du côté de Saint-Pierre furent seules cintrées, leurs fermes devant servir successivement aux deux autres arches; les pieux furent seuls battus dans toutes les travées.

Le cintre d'une arche se compose de quatre palées reposant chacune sur cinq pieux ; les palées, près des piles, reposent sur l'enceinte extérieure du batardeau; le pieu de la passerelle qui supporte l'arbalétrier de celle-ci forme le cinquième pieu de chaque palée.

Elles sont espacées de 8 mètres d'axe en axe; les trois pieux intermédiaires, d'une palée de $1^m,54$; les deux extrêmes sont à $3^m,40$ des pieux intermédiaires. Ces pieux ont $\frac{28}{28}$ d'équarrissage; ceux d'une même palée sont reliés par un cours de moises de $\frac{25}{12}$. Sur ces moises s'appuient, par l'intermédiaire de cales de $0^m,12$, trois poteaux de $\frac{20}{20}$; ces poteaux sont reliés à leur partie inférieure par un cours de moises de $\frac{25}{12}$; les extrêmes sont maintenus par des arbalétriers de $\frac{20}{20}$, qui s'appuient sur les pieux extrêmes et qui sont reliés aux poteaux par deux cours de moises de $\frac{25}{12}$.

Le poteau du milieu est maintenu par deux contre-fiches de $\frac{20}{20}$, qui vont de la base des poteaux extrêmes à la tête du poteau intermédiaire.

Sur chacun de ces poteaux sont assemblées des pièces de $\frac{25}{25}$, qui dessinent le contour polygonal inscrit dans la courbe formée par les arcs. L'écartement de ces pièces est maintenu par des pièces transversales de $\frac{25}{25}$; au niveau du contour polygonal existe un plancher de madriers soutenus au milieu de leur portée par des pièces de $\frac{8}{25}$ posées sur les moises transversales supérieures et parallèles aux arcs.

A $7^m,29$ au-dessus du recépage des pieux des palées, sur la tête des poteaux extrêmes, repose une longrine de $\frac{25}{25}$. L'écartement en est maintenu par des pièces de $\frac{20}{20}$. Ces longrines, espacées de $9^m,08$ d'axe en axe, sont destinées à recevoir les rails de la grue devant servir au montage des fontes. Sur les arbalétriers, de chaque côté, sont fixés en encorbellement, au moyen de petites contre-fiches, des trottoirs de $1^m,25$ pour la manœuvre de la grue.

Les palées sont reliées entre elles, à leur base, par trois cours de moises de $\frac{25}{12}$. Sur chaque poteau extrême sont assemblés deux étages de contre-fiches de $\frac{20}{20}$, qui supportent, au moyen de sous-poutres de même équarrissage, les unes, les pièces qui forment le contour polygonal; les autres, les longrines. Ces contre-fiches sont maintenues par des moises $\frac{18}{9}$; chaque poteau intermédiaire ne supporte qu'un étage de contre-fiches : celles qui soutiennent le contour polygonal de l'arc intermédiaire.

Le niveau des trottoirs des cintres est à la cote $16^m,26$, c'est-à-dire à $4^m,66$ au-dessus du niveau des retombées des arcs ($11^m,60$).

Le cube total des bois de sapin employés pour le cintre d'une travée de 30 mètres d'ouverture est approximativement de 100 mètres, pieux compris.

Les cintres, dans les deux premières travées, ont été établis du 15 mars au 30 avril.

2° PARTIE MÉTALLIQUE.

Provenance et composition de la fonte. — Les fontes du pont ont été fabriquées aux fonderies d'Alais (Gard).

Elles sont formées d'un mélange de 50 pour 100 de minerai d'Alais, et de 50 pour 100 de minerai de Mokta-el-Hadid, près de Bone (Algérie).

Essai des fontes. — Des épreuves ont été faites, les 20 et 21 février 1874, aux usines d'Alais, lors de la réception provisoire des fontes, en présence de MM. Bonnin, agent-voyer en chef du département de l'Eure; Jumel, représentant de la maison G. Martin, et Boisson, directeur de la fonderie. Elles ont donné des résultats satisfaisants au point de vue de la résistance.

Divers barreaux de $0^m,45$ de longueur et $0,081^s$ de côté ont été éprouvés à la flexion, avec l'appareil de Monge; ils se sont cassés

en moyenne sous une charge de 810 kilogrammes, placée dans le plateau de la balance : ce qui représente un effort de $25^k,91$ par millimètre carré de section, résultat conforme aux prescriptions du cahier des charges, qui exigeait une résistance de 26 kilogrammes.

Des barreaux de $0^m,20$ de longueur et de 0,042 de côté ont été éprouvés au choc ; ils ne se sont cassés que lorsque le boulet de 12 kilogrammes est tombé d'une hauteur de $0^m,45$, et même de $0^m,50$: le cahier des charges n'exigeait qu'une hauteur de $0^m,40$.

Des barreaux d'une autre coulée ont été éprouvés le 20 mars : à l'épreuve à la flexion ils n'ont pu être cassés avec une surcharge de 770 kilogrammes, et malgré les chocs violents imprimés au réservoir; à l'épreuve au choc, ils ne se sont cassés que lorsque la hauteur de chute du boulet a été de $0^m,50$ et $0^m,55$.

Ces essais prouvaient donc que les fontes remplissaient complétement les conditions requises par le cahier des charges.

Description sommaire de la partie métallique. — Le pont se compose de quatre arches métalliques semblables, de 30 mètres d'ouverture.

Chaque travée est formée (Pl. 74, fig. 1, 2 et 3; Pl. 75, fig. 2, 3 et 4) par trois arcs de $0^m,80$ de hauteur, surbaissés au dixième; ils sont pleins et extradossés parallèlement.

La section des arcs de rive a la forme d'un I de $0^m,80$ de hauteur; les semelles ont $0^m,20$ de largeur, l'âme $0^m,019$ d'épaisseur et les semelles de $0^m,027$ à $0^m,025$.

L'arc intermédiaire a la même forme, et sa hauteur est la même, c'est-à-dire $0^m,80$; mais les autres dimensions sont plus fortes : les semelles ont $0^m,28$ de largeur et de $0^m,042$ à $0^m,039$ d'épaisseur, et l'âme a $0^m,032$.

Les arcs, espacés de $3^m,922$ d'axe en axe, se composent de sept voussoirs, qui reposent sur deux plaques de retombées, scellées au ciment de Boulogne pur dans les sommiers. Les plaques des arcs de rive ont $0^m,40$, et celles de l'arc intermédiaire $0^m,74$ de largeur et $1^m,20$ de hauteur.

Les surfaces de contact des voussoirs ont été rabotées avec le plus grand soin à l'usine, de manière à obtenir une répartition très-uniforme de la pression dans les arcs.

Les trois arcs de chaque travée sont reliés par seize entretoises en fonte, dont huit entre l'arc d'aval et l'arc intermédiaire, et huit entre l'arc intermédiaire et l'arc d'amont. Elles sont placées tantôt à la partie supérieure, tantôt à la partie inférieure des arcs; ces entretoises ont $3^m,89$ de longueur et leur section a la forme d'un ⊥.

La semelle a $0^m,22$ de largeur et $0^m,02$ d'épaisseur; l'âme a aussi $0^m,02$ d'épaisseur; quant à la hauteur de l'entretoise, elle est variable : au milieu de la portée elle est de $0^m,22$, et aux extrémités, de $0^m,13$; chacune

des entretoises est terminée par deux boîtes s'assemblant avec deux autres boîtes semblables, venues de fonte avec les voussoirs; elles sont serrées au moyen de cales en fer, et le joint est rempli avec un mastic composé de limaille de fer, de soufre et de sel ammoniac. Ce même mastic sert du reste à remplir tous les autres joints du pont.

Les arcs sont surmontés de tympans évidés, et les tympans de rive sont couronnés par une corniche, dont les moulures sont semblables aux corniches en pierre des piles et culées.

Les tympans sont entretoisés à leur partie supérieure, au moyen de poutrelles en fer, qui supportent en même temps les voûtes en briques et la chaussée.

Ces poutrelles, fabriquées aux usines de la Providence, à Hautmont (Nord), ont $0^m,30$ de hauteur, et leur section a la forme d'un I; les semelles ont $0^m,125$ de largeur et de $0^m,03$ à $0^m,02$ d'épaisseur; l'âme a $0^m,015$.

A la clef elles ont $3^m,87$ de longueur, parce qu'alors elles s'assemblent avec l'arc de rive et l'arc intermédiaire; partout ailleurs elles ont $7^m,79$ et reposent en leur milieu sur le tympan intermédiaire. Elles s'appuient à leurs extrémités sur une saillie venue de fonte avec l'arc, et sont serrées au même point et à leur partie supérieure par une cale en fer; en outre, elles sont reliées au moyen de boulons à une plaque venue de fonte avec le voussoir sur lequel elles reposent.

Les poutrelles de $7^m,79$ sont fixées en leur milieu sur le tympan intermédiaire, au moyen de deux saillies venues de fonte avec le tympan et de deux crochets en fer boulonnés sur la semelle du tympan.

Toutes les poutrelles sont espacées d'axe en axe de $2^m,136$ en moyenne, et il y en a 15 par travée.

Le parapet est en fer, avec pilastres en fonte, espacés de $4^m,40$ d'axe en axe; au milieu de l'intervalle entre chaque pilastre se trouve un montant en fer; la main courante est à 1 mètre au-dessus de la corniche, et les panneaux sont formés de losanges entre-croisés : ce parapet a été fabriqué par la maison Rousselle de Paris.

Surflèche de montage. — Lorsqu'on monte un pont métallique en arc, il est nécessaire de tenir compte, dans le montage, de l'abaissement qui se produira à la clef par suite de la construction des voûtes de remplissage, de la chaussée et des trottoirs, en un mot, de tout ce qui compose la charge permanente, et ensuite de tenir compte également du nouvel abaissement temporaire qui se produira sous l'effet de la surcharge, soit morte, soit roulante. Ces abaissements comptés, il faut encore qu'il reste une surflèche, qui, pour une ouverture de 30 mètres, comme à Andé, peut être de 30 à 40 millimètres.

Afin de connaître cette surflèche totale nécessaire, on a dû se servir des formules de Bresse (*Traité de mécanique appliquée*), en les appli-

quant successivement aux deux cas : 1° charge permanente; 2° surcharge de 400 kilogrammes par mètre carré.

La formule de Bresse est celle-ci :

$$\Delta f = \frac{5}{2} \frac{p\rho^2}{e}.$$

Or, dans le premier cas, nous avons : surcharge permanente totale, moins le poids de la fonte = 224,000 kilogrammes.

Ce qui fait par mètre courant $\frac{224,000}{30} = 7466^k,6$, ou par arc de rive $\frac{7466^k,6}{4} = 1867$ kil.

$$\rho = 42,178.$$

$$e = F\omega = 6\,000\,000\,000 \times 0.024\,612.$$

L'abaissement à la clef est alors égal à :

$$\Delta f = \frac{5}{2} \frac{1867 \times \overline{42,178}^2}{6\,000\,000\,000 \times 0.024612} = 0.0337.$$

Dans le second cas, c'est-à-dire celui relatif à la surcharge de 400 kilogrammes par mètre carré, nous obtenons, au moyen de la même formule, pour abaissement à la clef, et en supposant la surcharge de 105 tonnes par arche, ce qui fait par mètre courant d'arc de rive :

$$\frac{105\,000}{4 \times 30} = 875 \text{ kil.}$$

$$\Delta f = \frac{5}{2} \frac{875 \times \overline{42,178}^2}{6\,000\,000\,000 \times 0.024\,612} = 0.016.$$

L'abaissement total à la clef sera donc finalement de 0,0497, qui, ajoutés aux 33 millimètres de surflèche permanente, après les épreuves, donnera la surflèche totale du pont au montage :

$$0.0337 + 0.016 + 0.033 = 0^m,0827 :$$

c'est effectivement avec cette surflèche de $0^m,083$ qu'a été fait le montage des quatre arches du pont d'Andé.

Il était intéressant de s'assurer, par expérience, de l'exactitude de ces calculs et devérifier si ces abaissements à la clef se reproduiraient exactement comme le calcul les indiquait : c'est ce qu'on a essayé de constater au moyen de nivellements répétés et faits avec toute la précision que comportent les bons instruments. On a donc fait une série d'opérations de nivellement sur chacun des arcs, aussitôt le montage terminé et avant le commencement des maçonneries des petites voûtes; puis on a refait

cette même série d'opérations, lorsque la chaussée a été entièrement terminée et cylindrée. La différence entre les deux opérations donnait évidemment l'abaissement à la clef, produit par la charge permanente.

Mais il fallait tenir compte d'une chose importante. Sous l'influence variable de la température, les arcs métalliques s'allongent ou se raccourcissent, et il en résulte une variation dans la dimension de la flèche : il était donc nécessaire, afin d'obtenir une comparaison exacte, de ramener toutes les opérations à la même température, que nous avons cru devoir prendre, pour le cas qui nous concerne, de $+10°$, parce qu'elle se trouvait être, à peu de chose près, la moyenne des températures que nous avions observées.

Il s'agissait donc de ramener ces flèches, observées à des températures variables, à celles qu'elles devaient avoir à $+10°$: pour cela nous nous sommes servi de la formule de M. Bresse :

$$\Delta f = 1,56\,\tau\rho,$$

dans laquelle $\rho = 42.178$ est le rayon de la flèche moyenne,

et $\tau = 0,0000\,111$, le coefficient de dilatation de la fonte :

cette formule nous a donné l'augmentation ou la diminution de la flèche par degré centigrade, et nous a permis de calculer exactement les flèches pour la température de $+10°$.

On a pu ainsi obtenir, comme résultat, un abaissement à la clef de 34 millimètres par suite de l'établissement des voûtes, de la chaussée et de tout ce qui constitue la charge permanente. Le chiffre donné par le calcul est de $33^{mm},7$: on voit donc combien les résultats sont concordants.

Avant de terminer, il est bon d'ajouter qu'on a eu l'occasion de vérifier, par expérience, la formule de M. Bresse dont nous venons de nous servir et qui donne les variations de flèche par degré centigrade. Pour cela, on a observé un grand nombre de flèches, en ayant soin de prendre en même temps la température de la fonte, et on a pu calculer de combien cette flèche variait par degré : le résultat obtenu nous a donné 0.000 828, tandis que la formule de M. Bresse nous donnait 0.0008149. On voit donc que, comme dans le cas précédent, les résultats de l'expérience concordent très-approximativement avec ceux donnés par la théorie.

Nous parlerons dans un des parapraphes suivants des résultats obtenus pendant les épreuves.

Comparaison du nouveau pont avec l'ancien. — En comparant le nouveau pont avec l'ancien, on voit que :

1° Les arcs de rive sont pleins au lieu d'être évidés ; ce qui permet de répartir la pression dans ces arcs d'une façon beaucoup plus régulière.

2° Ces arcs sont extradossés parallèlement, tandis que dans l'ancien pont la hauteur variait de 1m,20 aux naissances, à 0m,80 à la clef.

Une hauteur des arcs aussi grande aux naissances avait le grave inconvénient d'augmenter, en longueur, la surface de contact des voussoirs avec les plaques de retombées.

En effet, la variation de température et les surcharges, en augmentant ou en diminuant la flèche des arcs, devaient amener des changements considérables dans le point de passage de la courbe des pressions, et par suite devaient produire, soit à l'intrados, soit à l'extrados des arcs, des efforts de compression trop considérables dans la fonte; au lieu d'augmenter cette hauteur des arcs aux naissances, mieux vaudrait-il, peut-être, la réduire presque à un simple axe de rotation : c'est un problème déjà résolu pour les arcs en fer, et qu'il s'agit aujourd'hui d'appliquer à la fonte.

3° Les entretoises en fonte qui relient les arcs sont en plus petit nombre que dans l'ancien pont, et à chaque joint de voussoirs l'entretoise est simple au lieu d'être double. L'entretoise double avait l'inconvénient de se casser, lorsqu'un joint venait à s'ouvrir sous l'influence des variations de température.

4° Les voûtes en briques sont supportées par des poutrelles en fer qui relient en même temps les tympans, tandis que dans l'ancien pont ces poutrelles étaient en fonte. Ces poutrelles, reposant sur deux ou trois appuis et soumises à des efforts d'extension, il était rationnel de substituer le fer à la fonte, puisque ce métal résiste beaucoup mieux à l'extension que la fonte.

5° Le parapet est différent de l'ancien, par raison de légèreté et d'élégance.

Montage des fontes. — Les travées en fonte ont été montées au moyen d'une grue roulante à chariot mobile, circulant sur les cintres en bois.

Les fontes devant servir aux deux premières arches, du côté de Saint-Pierre, et qui devaient être montées les premières, sont arrivées sur le chantier le 12 juillet : la première arche était montée du 14 au 29 ; la seconde, du 26 juillet au 2 août.

Les deux premières arches étant terminées, on devait, comme nous l'avons expliqué plus haut, reporter les cintres de ces deux premières arches dans les autres travées du côté d'Andé, où les pieux qui devaient les supporter avaient été battus d'avance; ce travail fut exécuté du 2 au 22 août.

On monta ensuite les fontes de la troisième arche du 20 août au 4 septembre, et celles de la quatrième arche du 1er au 11 septembre. C'était donc une moyenne de dix jours qu'il fallait pour monter et ajuster toutes les fontes d'une arche.

3° MAÇONNERIE SUR LES ARCS.

Voûtes en briques de la chaussée. — Les voûtes en briques de la chaussée sont supportées par les poutrelles en fer (Pl. 74, fig. 1 et 2); elles s'appuient sur la semelle inférieure de ces poutrelles et ont 2^m,0114 d'ouverture moyenne de 0^m,25 de flèche. Elles sont formées par un rouleau de briques de 0^m,15 d'épaisseur, et de 6^m,35 de longueur dans le sens transversal du pont.

Dans chacune des quatrièmes voûtes de remplissage, à partir des culées et de chaque côté des piles, on a réservé aux deux extrémites des vides pour les gargouilles en fonte destinées à l'écoulement de l'eau des caniveaux.

Voûtes en briques des trottoirs. — Les voûtes qui supportent les trottoirs s'appuient sur la semelle supérieure des poutrelles en fer; elles ont 2^m,0114 d'ouverture moyenne et 0^m,205 de flèche, et sont formées par un rouleau de briques de 0^m,11 d'épaisseur et de 0^m,835 de longueur, sauf à la clef, où la longueur n'est plus que de 0^m,647, à cause de la semelle supérieure de l'arc.

A la tête des voûtes de trottoir, du côté de la chaussée, l'intervalle compris entre l'extrados des voûtes de la chaussée et l'intrados des voûtes de trottoirs est rempli par une maçonnerie de briques de 0^m,11 d'épaisseur.

La maçonnerie de briques de voûtes est faite avec un mortier composé de 0^m,30 de ciment de Boulogne pour 0^m,80 de sable.

Corbeaux des piles et culées. — Aux piles et aux culées, les poutrelles en fer sont distantes de 0^m,35 des murs de celles-ci. Dans l'ancien pont, cet intervalle avait été rempli par une portion de voûte en briques semblables à celles supportant la chaussée; mais on remarqua que, par suite de la dilatation, ces portions de voûtes, exposées à des mouvements continuels, finissaient par s'ouvrir et tomber. Pour remédier à cet inconvénient, on a remplacé dans la nouvelle construction ces portions de voûtes par des corbeaux en pierre, reposant d'un côté sur la pile ou la culée et de l'autre sur la semelle inférieure des poutrelles, et ces corbeaux ont été taillés dans les pierres inutilisées de l'ancien pont.

Ces corbeaux une fois posés, on acheva complétement la maçonnerie de remplissage des piles, et la pose des corniches et des parapets en pierre de Lérouville.

Béton sur les voûtes de la chaussée. — Les reins des voûtes de la

chaussée ont été remplis de béton maigre, composé de $0^m,85$ de caillou, pour $0^m,50$ de mortier de chaux, formé lui-même de $0^m,50$ de chaux hydraulique de Bougival pour un mètre de sable.

Ce béton était disposé de façon à faciliter l'écoulement des eaux d'infiltration vers les tuyaux de drainage placés dans les petites voûtes de remplissage.

Chape, sable sur la chape et chaussée. — Les voûtes de la chaussée et le béton maigre qui en remplissait les reins furent ensuite recouverts d'une chape de $0^m,03$ d'épaisseur, composée d'égales parties de sable et de ciment; puis, sur un massif de maçonnerie de moellon, distant de $1^m,32$ de l'axe des pilastres du garde-corps, on posa les bordures de trottoirs en granit d'Alençon.

Une couche de sable de $0^m,04$ d'épaisseur fut alors étendue sur toute la surface entre les bordures de trottoirs; puis on fit la chaussée, dont l'épaisseur est de $0^m,30$ sur l'axe du pont.

Les caniveaux sont formés de trois rangs de pavés de 0,15, provenant des carrières de May, près Caen.

Béton sur les voûtes des trottoirs. — Mortier et asphalte. — Les voûtes de trottoirs ont été recouvertes de béton maigre, bien pilonné jusqu'à trois centimètres au-dessous du niveau du trottoir; sur ce béton on a étendu une couche de mortier de chaux de $0^m,015$, et sur celle-ci une couche d'asphalte de même épaisseur.

Ces différents travaux ont été exécutés du 14 septembre au 18 octobre, et à cette époque le pont était complétement achevé; il ne restait plus à faire que les accès qui ont été exécutés après les épreuves.

CHAPITRE III

Calcul des efforts dans les différentes parties du pont.

§ 1er. — Calcul des arcs.

Arcs de rive. — Les arcs de rive ont les dimensions suivantes (ces dimensions se rapportent à la fibre moyenne) (Pl. 75, fig. 1) :

Corde $2a$ = 30,433

Flèche f = 2,841

Angle φ (1/2 angle au centre) = 21°8′50″ = 21°,147

Rayon ρ = 42,178.

La section des arcs a la forme d'un I (Pl. 75, fig. 2); la hauteur totale est de 800 millimètres; l'âme a 748 millimètres de hauteur et 19 millimètres d'épaisseur; les semelles ont 200 millimètres de largeur et 26 millimètres d'épaisseur moyenne.

Le moment d'inertie est alors :

$$I = \frac{1}{12}\left(200 \times 800^3 - 181 \times 748^3\right)$$

$$I = 2220822704.$$

La surface de la section est égale à ω = 24 612 millimètres carrés.

Le poids p, uniformément réparti par mètre courant, suivant l'horizontale, est égal à 3366 kilogrammes, et se décompose ainsi :

	Poids de la fonte.		75,000 kil.
	Voûtes en briques et chape.		69,500
Chaussée et trottoirs.	Chaussée.	99,742k	
	Cailloutis sur les trottoirs. . .	30,225	
	Bordures.	12,322	
	Pavés des caniveaux.	12,090	
		154,379k soit.	154,500
		Total. . .	299,000
	Surcharge à 400 kil. par mètre carré. . . .		105,000
		Poids total.	404,000 kil.

Le poids par mètre courant est alors égal à :

$$p = \frac{404{,}000^k}{30} = 13466^k.$$

Or, l'arc intermédiaire supporte la moitié de cette charge, c'est-à-dire 6,733 kil. : il reste donc pour chaque arc de rive une charge de 3,366 kil., puisque chaque arc de rive supporte la moitié de ce qui porte sur l'arc intermédiaire.

Effort à la clef. — La valeur de l'effort à la clef est donné par la formule suivante, trouvée par M. Bresse et modifiée par M Albaret :

$$q = \frac{p\rho}{\omega}\Big[\left(\frac{b}{4} - 1\right) - \left(\frac{b}{2} - 1\right) 2n \sin\varphi + 1 +$$

$$\frac{b}{4}\cos\varphi\,(4n \sin\varphi - \cos\varphi)\Big], \qquad (1)$$

dans laquelle :

$$p = 3366^k$$

$$\rho = 12.178$$

$$\omega = 0.024612$$

$$\varphi = 21°\ 8'\ 50'',$$

$$b = \frac{2\rho\, u_1}{r^2} \begin{cases} u_1 = \dfrac{h}{2} = 0.40 \\ r^2 = \dfrac{I}{\omega} = \dfrac{2220822704}{24612} = 90.233. \end{cases}$$

$$b = \frac{2 \times 12.178 \times 0.40}{90.233} = 0.37394$$

$$\frac{b}{4} = 0.093485$$

$$\frac{b}{4} - 1 = -\ 0.906515$$

$$\frac{b}{2} = 0.18697$$

$$\frac{b}{2} - 1 = -\ 0.81303$$

$F'' = 1.339$ (cette valeur est donnée par les tables de M. Bresse).

Coefficient de poussée $n = F'' \, 6$

$$\lambda = \left(\frac{\sin \varphi}{\frac{2\varphi}{\pi}}\right)^2 = \left(\frac{\sin 21°\,8'\,50''}{0.234}\right)^2 = 2.37694$$

$$6 = \frac{1 - \frac{\lambda r^2}{a^2}}{1 + \frac{\lambda' r^2}{a^2}} \qquad \lambda' = \frac{15}{8 \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2}} = \frac{15}{8 \operatorname{tg}^2 10°\,34'\,25''} = 53.809$$

$$\frac{r^2}{a^2} = \frac{90233}{231541872} = 0.0003892$$

$$6 = \frac{1 - 2{,}37694 \times 0.0003892}{1 + 53{,}809 \times 0.0003892} = 0.97858,$$

$$n = 1.339 \times 0.97858 = 1.3103.$$

Si l'on remplace dans la formule (1) les lettres par leurs valeurs numériques, il vient, pour la valeur de l'effort à la clef :

$$q = \frac{3366 \times 42.178}{0.024612}\, [-0.906515 - (-0.81303 \times 2 \times 1{,}3103 \times \sin 21°\,8'\,50'') + 1 + 0.093485 \times \cos 21°\,8'\,50'' \, (4 \times 1.3103 \sin 21°\,8'\,50'' - \cos 21°\,8'\,50'')].$$

$$q = \frac{3366 \times 42.178 \times 0.9457}{0.024612}$$ soit $5^k,455$ par millimètre carré de section.

Effort aux naissances. — La valeur de l'effort aux naissances est donnée par la formule suivante :

$$q = \frac{p\rho}{\omega}\left[-\left(\frac{b}{4}+1\right)\cos^2\varphi + \left(\frac{b}{2}+1\right) 2n \sin\varphi \cos\varphi + 1 - \frac{b}{4}\cos\varphi\,(4n\sin\varphi - \cos\varphi)\right] \qquad (2)$$

dans laquelle :

$$p = 3366^k$$
$$\rho = 42.178$$
$$\omega = 0.024612$$
$$b = 0.37394$$

$$\frac{b}{4} = 0.093485$$

$$\frac{b}{4} + 1 = 1.093485$$

$$\frac{b}{2} = 0.18697$$

$$\frac{b}{2} + 1 = 1.18697$$

$$\varphi = 21^\circ 8' 50''$$

$$n = 1.3103$$

Si l'on remplace dans la formule (2) les lettres par leurs valeurs, il vient pour l'effort aux naissances :

$$q = \frac{3366 \times 42{,}178}{0.024612} [-1.093485 \cos^2 21^\circ 8' 50'' + 1.18697 \times 2 \times 1.3103 \times \sin 21^\circ 8' 50'' \times \cos 21^\circ 8' 50'' + 1 - 0.093485 \times \cos 21^\circ 8' 50'' \times (4 \times 1.3103 \times \sin 21^\circ 8' 50'' - \cos 21^\circ 8' 50'')],$$

$$q = \frac{3366 \times 42.178 \times 1.0119}{0.024612}$$ soit $5^k.84$ par millimètre carré de section.

Le travail des arcs de rive, aux naissances et à la clef, est donc inférieur à la limite pratique adoptée, qui est de 6 kil. par millimètre carré de section.

Arc intermédiaire. — L'arc intermédiaire a les dimensions suivantes : (Ces dimensions se rapportent à la fibre moyenne) (Pl. 75, fig. 1).

Corde $2a$ = 30.433

Flèche f = 2.841

Angle φ ($\frac{1}{2}$ angle au centre) = $21^\circ 8' 50'' = 21^\circ{,}147$

Rayon ρ = 42.178.

La section des arcs intermédiaires a la forme d'un I (Pl. 75, fig. 3); la hauteur totale est de 800 millimètres et l'âme a 719 millimètres de hauteur sur 32 millimètres d'épaisseur; les semelles ont 280 millimètres de largeur et 40 millim.5 d'épaisseur moyenne.

Le mouvement d'inertie est alors :

$$I = \frac{1}{12} (280 \times 800^3 - 248 \times 719^3),$$

$$I = 1264969833.$$

La surface de la section est égale à :

$$\omega = 45688 \text{ millimètres carrés.}$$

Le poids $p = 6733$ kilogrammes.

Effort à la clef. — La valeur de cet effort est donnée par la formule (1), dans laquelle :

$$p = 6733^k$$
$$\rho = 42.178$$
$$\omega = 0.045688$$
$$\varphi = 21°\,8'\,50''$$

$$b = \frac{2\rho\, u_1}{r^2} \left\{ \begin{array}{l} u_1 = \frac{h}{2} = 0.40 \\ r^2 = \frac{I}{\omega} = \frac{4264969833}{45688} = 93{,}350, \end{array} \right.$$

$$b = \frac{2 \times 42.178 \times 0.40}{93.350} = 0{,}36146.$$

$$\frac{b}{4} = 0.09037$$

$$\frac{b}{4} - 1 = -0.90963$$

$$\frac{b}{2} = 0.18074$$

$$\frac{b}{2} - 1 = -0.81926$$

Coefficient de poussée $n = F''\,6$

$F'' = 1.339$ (cette valeur est donnée par les tables de M. Bresse).

$$6 = \frac{1 - \lambda \frac{r^2}{a^2}}{1 + \lambda' \frac{r^2}{a^2}} \left\{ \begin{array}{l} \lambda = \left(\frac{\sin\varphi}{\frac{2\varphi}{\pi}}\right)^2 = \left(\frac{\sin 21°\,8'\,50''}{0.234}\right)^2 = 2{,}37694 \\ \lambda' = \frac{15}{8\,\mathrm{tg}^2 \frac{\varphi}{2}} = \frac{15}{8\,\mathrm{tg}^2\, 10°\,34'\,25''} = 53{,}809 \\ \frac{r^2}{a^2} = \frac{93350}{231541872} = 0.00040316 \end{array} \right.$$

$$6 = \frac{1 - 2{,}37694 \times 0.00040316}{1 + 53{,}809 \times 0.00040316} = 0.97783$$

$$n = 1.339 \times 0.97783 = 1.3093.$$

Si l'on remplace dans la formule (1) les lettres par leurs valeurs numériques, il vient :

$$q = \frac{6733 \times 42.178}{0.045688} [-0.90963 - (-0.81926 \times 2 \times 1.3093 \sin 21° 8' 50'') + 1 + 0.09037 \cos 21° 8' 50'' \times (4 \times 1,3093 \times \sin 21° 8' 50'' - \cos 21° 8' 50'')]$$

$$q = \frac{6733 \times 42.178 \times 0.944963}{0.045688}$$ soit $5^k.873$ par millimètre carré de section.

Effort aux naissances. — La valeur de cet effort est donnée par la formule (2) dans laquelle :

$$p = 6733^k$$
$$\rho = 42.178$$
$$\omega = 0.045688$$
$$b = 0.36146$$
$$\frac{b}{4} = 0.09037$$
$$\frac{b}{4} + 1 = 1.09037$$
$$\frac{b}{2} = 0.18074$$
$$\frac{b}{2} + 1 = 1.18074$$
$$\varphi = 21° 8' 50''$$
$$n = 1.3093.$$

Si l'on remplace dans la formule (2) les lettres par leurs valeurs numériques, il vient :

$$q = \frac{6733 \times 42.178}{0.045688} [-1.09037 \times \cos^2 21° 8' 50'' + 1.18074 \times 2 \times 1.3093 \times \sin 21° 8' 50'' \times \cos 21° 8' 50'' + 1 - 0,09037 \times \cos 21° 8' 50'' \times (4 \times 1.3093 \times \sin 21° 8' 50'' - \cos 21° 8' 50'')]$$

$$q = \frac{6733 \times 42.178 \times 1.01123}{0.045688}$$ soit $6^k,285$.

Les arcs intermédiaires travaillent donc dans de bonnes conditions, l'effort auquel ils sont soumis étant voisin de la limite pratique adoptée.

Méthode simplifiée pour le calcul des efforts. — Si l'on applique aux calculs des efforts la formule simple, résultant de l'hypothèse que

la fibre moyenne se confond avec un arc de parabole, on voit que les résultats auxquels elle conduit diffèrent peu des précédents.

Arcs de rive.

Effort à la clef. — La formule résultant de cette hypothèse et donnant la poussée à la clef est celle-ci :

$$Q = \frac{pa^2}{2f} = \frac{3366 \times 15.216^2}{2 \times 2,841} = 137175 \text{ kil.}$$

La pression q par unité de surface est alors égale à :

$$q = \frac{Q}{\omega} = \frac{137175}{0.024612} = 5^k,573 \text{ par millimètre carré de section.}$$

Effort aux naissances. — Cet effort est donné par la formule :

$$Q = \frac{pa^2}{2f\cos\varphi} = \frac{3366 \times 15,216^2}{2 \times 2.841 \times \cos 21^\circ 8' 50''} = 147079 \text{ kil.}$$

La pression q par unité de surface est alors égale à :

$$q = \frac{Q}{\omega} = \frac{147079}{0.024612} \text{ soit } 5^k,975 \text{ par millimètre carré de section.}$$

Arc intermédiaire.

Effort à la clef. — L'effort à la clef est égal à :

$$Q = \frac{pa^2}{2f} = \frac{6733 \times 15.216^2}{2 \times 2.841} = 274351 \text{ kil.}$$

La pression par unité de surface est égale à :

$$q = \frac{Q}{\omega} = \frac{274351}{0.045688} \text{ soit } 6^k,004 \text{ par millimètre carré.}$$

Effort aux naissances. — Cet effort est égal à :

$$Q = \frac{pa^2}{2f\cos\varphi} = \frac{6733 \times 15,216^2}{2 \times 2,841 \times \cos 21^\circ 8' 50''} = 294160 \text{ kil.}$$

La pression par unité de surface est égale à :

$$q = \frac{Q}{\omega} = \frac{294160}{0.045688} \text{ soit } 6^k,438 \text{ par millimètre carré.}$$

§ 2. — **Calcul des poutrelles en fer qui supportent la chaussée.**

Ces poutrelles sont de deux espèces : les premières ont $3^m.87$, et les secondes $7^m.79$ de longueur en moyenne; leur section a la forme d'un I (Pl. B, fig. 4), de $0^m.30$ de hauteur; l'âme a $0^m.25$ de hauteur et $0^m.015$ d'épaisseur; les semelles ont $0^m.125$ de largeur et $0^m.025$ d'épaisseur moyenne.

Le moment d'inertie de la section est alors égal à :

$$I = \frac{1}{12}(0.125 \times 0,300^3 - 0.110 \times 0.250^3) = 0.00013802.$$

1° *Poutrelles de* $3^m.87$ *de longueur.* — D'après ce qui a été dit plus haut, ces poutrelles peuvent être considérées comme encastrées à leurs extrémités; et, comme la cale supérieure et l'extrémité de la saillie inférieure sont distantes de $0^m.17$ environ, l'encastrement se trouve au milieu de cet intervalle, c'est-à-dire à $0^m.085$ de l'extrémité de la poutrelle.

Par suite de cet encastrement, la portée de la poutrelle est réduite à :

$$2a = 3.87 - (2 \times 0,085) = 3.70.$$

On va donc calculer la charge et la surcharge que supportent ces poutrelles.

Charge permanente. — Le poids permanent, par mètre courant de poutrelle, s'obtient ainsi :

Voûtes en briques et chape.	69,500 kil.
Chaussée et trottoirs..	154,500
Total.	224,000 kil.

Ce poids produit, par mètre courant de poutrelle, une charge de :

$$p = \frac{224000 \times 2.136}{2 \times 31 \times 3.70} = 2085, \text{ soit } 2,100 \text{ kil.}$$

Surcharge de 400 kilogrammes par mètre carré. — La surcharge de 400 kilogrammes par mètre carré produit, par mètre courant de poutrelle un poids de $2.136 \times 400 = 854^k,4$, soit 860 kilogrammes.

Le poids total est donc égal à $2,100^k + 860 = 2,960$ kilogrammes.

Valeurs des moments fléchissants et des efforts en différents points.

— La valeur du moment fléchissant, en un point quelconque, en prenant le milieu de la poutre pour origine, est donnée par la formule :

$$M = \frac{1}{6} p (a^2 - 3x^2).$$

Pour $x = o$, c'est-à-dire au milieu de la portée :

$$M = \frac{1}{6} pa^2 = \frac{2{,}960^k \times 1.85^2}{6} = 1{,}688 \text{ kilogrammètres.}$$

Pour $x = a$, c'est-à-dire aux points d'encastrement :

$$M \text{ (en valeur absolue)} = \frac{1}{3} pa^2 = \frac{2{,}960 \times 1.85^2}{3} = 3{,}376 \text{ kilogrammètres.}$$

Le moment d'inertie de la poutrelle étant :

$I = 0.00013802$ et la demi-hauteur, $v = 0{,}15$,

l'effort au milieu de la portée est égal à :

$$R = \frac{Mv}{I} = \frac{1688 \times 0.15}{0.00013802} \text{ soit } 1^k{,}83 \text{ par millimètre carré.}$$

Aux points d'encastrement, il est égal à :

$$R = \frac{3376 \times 0.15}{0.00013802} \text{ soit } 3^k{,}66 \text{ par millimètre carré.}$$

Surcharge produite par une voiture de 11,000 kilogrammes. — Si l'on considère la surcharge produite par le passage d'une voiture de 11,000 kilog., on voit d'après la disposition du pont que cette voiture peut porter sur le milieu d'une poutrelle.

On va donc calculer les valeurs des moments fléchissants et des efforts en différents points, en supposant cette surcharge $2P = 11{,}000$ kilog., concentrée au milieu de la portée.

Cette valeur du moment fléchissant en un point quelconque, en prenant le milieu pour origine, est donnée par la formule :

$$M = \frac{P}{2}(a - 2x) + \frac{1}{6} p (a^2 - 3x^2).$$

Pour $x = o$, c'est-à-dire au milieu de la portée :

$$M = \frac{Pa}{2} + \frac{1}{6} pa^2 = \frac{5500 \times 1.85}{2} + \frac{2100 \times 1.85^2}{6},$$

$$M = 6284, \text{ soit } 6280^{km}.$$

Pour $x = a$, c'est-à-dire aux points d'encastrement :

$$M \text{ (en valeur absolue)} = \frac{Pa}{2} + \frac{1}{3} pa^2 = \frac{5500 \times 1.85}{2} + \frac{2100 \times 1.85^2}{3} = 7480^{km}.$$

L'effort au milieu est dès lors égal à :

$$R = \frac{M v}{I} = \frac{6280 \times 0.15}{0.00013802} \text{ soit } 6^{k},82 \text{ par millimètre carré.}$$

Aux points d'encastrement il est égal à :

$$R = \frac{7480 \times 0.15}{0.00013802} \text{ soit } 8^{k},12 \text{ par millimètre carré.}$$

2° *Poutrelles de* $7^{m}.79$. — Les poutrelles de $7^{m}.79$ sont encastrées à leurs extrémités sur les arcs de rive comme celles de $3^{m}.87$; en outre, les crochets, les saillies, venues de fonte sur l'arc intermédiaire où elles reposent, et la charge qui pèse sur elles en cet endroit constituent un véritable encastrement au milieu de leur portée.

Ces divers encastrements réduisent donc la portée de chaque moitié de la poutrelle à $\frac{7.79 - (0.28 + 0.17)}{2} = 3.67$, valeur égale à peu près à la portée des petites poutrelles.

On peut donc assimiler les deux tronçons des grandes poutrelles aux petites et leur appliquer les résultats trouvés plus haut pour ces dernières.

§ 3. — Stabilité des maçonneries.

Piles. — Il convient de remarquer que les arcs de rive sont également distants de l'arc intermédiaire, et que, par conséquent, la force qui représente la poussée d'une arche entière est située, comme le poids de celle-ci, dans le plan vertical passant par son centre de gravité.

Nous allons examiner la stabilité des piles dans les deux cas les plus importants : 1° lorsque les deux arches voisines sont également surchargées; et 2° lorsque l'une est surchargée et que l'autre ne l'est pas.

1° Les deux arches sont également surchargées. — Effort dans le sous-socle. — L'assise considérée supporte les poids égaux de deux demi-arches ou le poids d'une arche entière, c'est-à-dire 404 tonnes (Pl. 75, fig. 5), et en outre le poids de la pile, qui est de 731 tonnes : ce qui fait un poids total de 1135 tonnes.

Ce poids se répartit uniformément dans cette assise, dont la surface est de 51.92, et y produit une pression de :

$$R = \frac{P}{\Omega} = \frac{1135000}{51.92} \text{ soit } 2^{k},18 \text{ par centimètre carré.}$$

Effort sur les pieux. — Le poids qui pèse sur les pieux est de 1147 tonnes, et produit sur chaque pieu une charge de $\frac{1147000}{51} = 22,490$ kilog.; or les pieux ont $\frac{30}{30}$ d'équarrissage, et la pression est alors :

$$R = \frac{22490}{0.09} \text{ soit 25 kilog. par centimètre carré.}$$

2° **Les arches sont inégalement chargées.** — **Effort dans le sous-socle.** — On suppose la travée de droite (Pl. 75, fig. 6) surchargée, et la travée de gauche non surchargée. La demi-travée non surchargée pèse

$$\frac{404 - 105}{2} = 149^t.5, \text{ soit 150 tonnes.}$$

Dans la demi-travée surchargée, au poids de 150^t de cette demi-travée s'ajoute le poids $\frac{105^t}{2} = 52^t.5$, soit 52^t de surcharge.

Les poids de 150 tonnes passent au centre de gravité de chaque demi-travée, et sont distants de $17^m.80$: ils sont donc situés à $8^m.90$ de l'axe de la pile.

Dans la demi-travée de droite surchargée, le poids de 52 tonnes passe à $8^m.75$ de l'axe de la pile, c'est-à-dire à 0.15 du centre de gravité de la demi-travée : la résultante de ces deux forces est égale à $150 + 52^t = 202^t$, et passe à une distance x du centre de gravité du poids de 150^t ; cette distance est donnée par l'équation suivante :

$$150\,x = 52\,(0.15 - x),$$

d'où

$$x = 0.038.$$

La résultante 202^t passe donc à 8.862 de l'axe de la pile. Les deux forces 150^t et 202^t, distantes alors de 17.762, ont une résultante égale à 352^t, dont la position est donnée par l'équation suivante :

$$150\,x = 202\,(17.762 - x),$$

d'où

$$x = 10.193.$$

La résultante 352 tonnes passe donc à $10,193 - 8.90 = 1,293$, à droite de l'axe de la pile.

Le poids de la pile au-dessus du sous-socle est de 731^t, et ce poids passe par le centre de gravité de la pile.

La résultante de ce poids de maçonnerie et du poids 352 tonnes est de 1083 tonnes, et passe à une distance x de l'axe, donnée par l'équation suivante :

$$731\,x = 352\,(1.293 - x),$$

d'où $x = 0.42.$

Or la poussée produite par la surcharge et qui est de

$Q = n \times 2\, pa = 1.31 \times 8 \times 100 \times 30.433 = 127^t.6$, soit 128 tonnes,

éloigne la force 1083 tonnes de son point d'application, d'une quantité donnée par la proportion suivante :

$$\frac{1083^t}{128^t} = \frac{9.44}{x},$$

d'où $$x = \frac{128 \times 9.44}{1083} = 1.115.$$

L'effort 1083 tonnes est donc reporté à $1.115 - 0.42 = 0.695$ à gauche de l'axe de la pile.

Cet effort se répartit dans le sous-socle, conformément à la formule suivante (voir Collignon, *Traité de mécanique appliquée*) :

$$R = \frac{P}{\Omega}\left(1 + \frac{3\,p\,x}{a^2}\right),$$

dans laquelle :

$$P = 1083^t$$
$$\Omega = 51.92$$
$$p = 0.695$$
$$a = \frac{4.30}{2} = 2.15.$$

Pour $x = a$, c'est-à-dire sur l'arête de gauche, la plus chargée :

$$R = \frac{1083000}{51.92}\left(\frac{1 + 3 \times 0.695}{2.15}\right)$$ soit $4^k,407$ par centimètre carré.

Pour $x = -a$, c'est-à-dire sur l'arête de droite, la moins pressée :

$$R = \frac{1083000}{51.92}\left(\frac{1 - 3 \times 0.695}{2.15}\right)$$ soit $0^k,06$ par centimètre carré.

Pour $x = o$, c'est-à-dire au milieu du joint, la pression est de :

$$R = \frac{1083000}{51.92}$$ soit 2.08 par centimètre carré.

La pile sous la surcharge travaille donc dans les meilleures conditions, puisque l'effort passe sensiblement aux deux tiers du joint, et que, par suite, la pression est presque nulle sur l'arête située du côté de l'arche surchargée; cet effort est, du reste, au-dessous des limites admises pour la résistance des maçonneries du côté de l'arête la plus chargée.

Effort sur la file de pieux la plus chargée. — L'effort qui agit sur l'arête la plus chargée dans le sous-socle, et qui est de 41,071 kilog. par unité de longueur, est sensiblement égal à celui qui agit sur la dernière file longitudinale de pieux ; or cette file a 9m.88 de longueur : l'effort est donc de 41,071 × 9.88 = 405,781 kilog. ; ce qui produit par pieu un effort de :

$$\frac{405,781}{9} = 45,086 \text{ kilog.},$$

et par centimètre carré une pression de :

$$\frac{45086^{k}}{0.09} \text{ soit } 50 \text{ kilog.}$$

Coefficient de stabilité. — Le coefficient de stabilité de la pile (Pl. 75, fig. 6) sous la surcharge est de :

$$m = \frac{\mathrm{R}\,d}{\mathrm{P}\,h},$$

dans laquelle :

$$\mathrm{R} = 1083^{t}$$
$$d = 1,455$$
$$\mathrm{P} = 128^{t}$$
$$h = 9.44.$$

Dès lors :

$$m = \frac{1083^{t} \times 1.455}{128 \times 9.44} = 1,34.$$

Culées. — Coefficient de stabilité sous la surcharge de 400 kilogrammes. — Les culées sont formées d'un massif de maçonnerie de 9m.44 de largeur (Pl. 75, fig. 7), et de 2m.55 d'épaisseur ; derrière chaque arc de rive existe un contrefort de 4.95 × 1.62, et derrière l'arc intermédiaire un contrefort de 4.95 × 2.50.

Le poids d'une culée est de 1166 tonnes, et cette force passe à 4.185 de l'arête postérieure du socle.

Le poids de la demi-travée, y compris la surcharge, est de 202 tonnes ; et ce poids, composé avec le poids de la culée (Pl. 75, fig. 8), donne une résultante de 1368 tonnes, appliquée à une distance x du centre de gravité de la culée.

Cette distance est déterminée par l'équation :

$$1166\,x = 202\,(10.452 - x),$$

d'où

$$x = 1,544.$$

Le coefficient de stabilité de la culée est donné par la formule :

$$m = \frac{R\,d}{P\,h},$$

dans laquelle :

$$R = 1166 + 202 = 1368^t$$

$$d = 4.185 + 1.544 = 5.729$$

$$P = Q = n \times 2pa = 1.31 \times 404^t = 530^t$$

$$h = 9.91.$$

Dès lors :

$$m = \frac{1368 \times 5.729}{530 \times 9.91} = 1.49.$$

Coefficient de stabilité sans la surcharge. — Dans la recherche du coefficient précédent, on a considéré le cas le plus défavorable, c'est-à-dire la surcharge d'épreuve de 400 kilogrammes par mètre carré; or les charges les plus fortes que le pont puisse jamais avoir à supporter sont loin d'être aussi considérables : il convient donc de rechercher le coefficient de stabilité quand il n'y a pas de surcharge.

Dans ce cas, la demi-travée pèse 150 tonnes; le point d'application de cette force est distant du poids 1166 tonnes de la culée de 10.49, et la résultante 1316 tonnes de ces deux forces passe à 1.195 du centre de gravité de la culée, comme l'indique la formule :

$$x = \frac{150^t \times 10.49}{1166^t + 150^t} = 1.195.$$

Elle passe donc à $5^m.38$ de l'arête postérieure du socle; et, la poussée étant égale à :

$$Q = 1.31 \times 300^t = 393^t;$$

on obtient pour coefficient de stabilité :

$$m = \frac{1316^t \times 5.38}{393^t \times 9.91} = 1.81.$$

CHAPITRE IV

Épreuves du pont.

Le pont d'Andé a été soumis à toutes les épreuves prescrites par la circulaire du Ministre des travaux publics, du 15 juin 1869.

Épreuves par poids mort. — La charge uniformément répartie de 400 kilogrammes par mètre carré a été réalisée au moyen de sable étendu sur la chaussée et les trottoirs.

1re *Épreuve.* — Les 2 et 3 novembre, les deux premières arches (côté de Saint-Pierre) ont été couvertes de sable jusqu'à la hauteur fixée, et chacune de ces travées avait alors à supporter un poids de :

$$400 \times 31 \times 8 = 99{,}200 \text{ kilogrammes.}$$

2e *Épreuve.* — Les 4 et 5 novembre, les troisième et quatrième arches ont été couvertes de la même quantité de sable, la charge étant restée sur les deux premières ; le pont était alors chargé de :

$$4 \times 99{,}200 \text{ kilog.} = 396{,}800 \text{ kilogrammes.}$$

3e *Épreuve.* — Le 6 novembre, la charge des deux premières arches a été enlevée, de sorte que les seules travées surchargées étaient les arches nos 3 et 4.

4e *Epreuve.* — Le 7 novembre, les troisième et quatrième arches ont été déchargées à l'aval, sur la moitié de la largeur du pont, et cette charge a été transportée à l'amont, sur les arches nos 1 et 2, sur la moitié de la largeur du pont : de cette manière, les arcs intermédiaires et les arcs de rive d'amont étaient seuls chargés d'un poids de 198,400 kilogrammes.

5e *Epreuve.* — Le 8 novembre, toute cette charge a été portée à l'aval, sur la moitié de la chaussée et sur toute la longueur du pont ; les arcs intermédiaires et les arcs de rive d'aval supportaient seuls cette surcharge.

Dans chaque épreuve, la charge est restée sur le pont, douze heures au moins, et pendant toutes ces opérations aucun mouvement ne s'est produit, ni dans les fontes, ni dans les maçonneries.

Les flexions ont été observées avec le plus grand soin, et sont consignées dans le tableau suivant.

On n'a considéré que les trois premières épreuves, les seules réellement importantes.

DÉSIGNATION DES ARCHES.	Niveau moyen des arches à + 10° avant les épreuves.	Niveau moyen des arches à + 10° pendant les épreuves.			Mouvements des arches sous la surcharge.			OBSERVATIONS
		1re épreuve.	2e épreuve.	3e épreuve.	1re épreuve.	2e épreuve.	3e épreuve.	
Arche n° 1.	15.680	15.671	15.665	15.675	— 0.009	— 0.015	— 0.005	Le signe — indique la flexion ; le signe + le relèvement. Abaissement du niveau moyen du pont : 0.013.
— n° 2.	15.706	15.692	15.692	15.700	— 0.014	— 0.014	— 0.006	
— n° 3.	15.703	15.704	15.695	15.687	+ 0.001	— 0.008	— 0.016	
— n° 4.	15.684	15.686	15.679	15.673	+ 0.002	— 0.005	— 0.011	

Les flexions et les relèvements ont été calculés comme les surflèches.

On a comparé la moyenne d'un grand nombre de nivellements faits après l'achèvement du pont, et ramenés à + 10°, avec la moyenne des nivellements faits pendant chaque épreuve et ramenés à la même température ; la différence entre ces opérations a donné les flexions.

Les résultats obtenus concordent bien, d'ailleurs, avec ceux donnés par la formule théorique; ainsi la surcharge de 400 kilogrammes par mètre carré produit, d'après la formule :

$$-\Delta f = \frac{3}{2}\frac{p\rho^2}{e},$$

sur un arc de rive, un abaissement de :

$$\Delta f = \frac{3}{2}\frac{875 \times 42,178^2}{147672000} = 0.016.$$

En comparant ce chiffre avec les flexions 0.009 et 0.014 des deux premières arches (1re épreuve), 0.015 et 0.014 des mêmes arches (2e épreuve), 0.016 et 0.011 des deux dernières arches (3e épreuve), qui sont les seules où à la flexion ne s'ajoutent pas des relèvements produits par la charge des autres arches, on voit que la flexion 0.016, fournie par la formule théorique, est sensiblement la même que celles qui ont été observées et dont la moyenne est 0.013.

Épreuve par charge roulante. — Le 10 décembre a eu lieu l'épreuve par charge roulante. Une voiture chargée de rails et pesant 11,000 kilogrammes a passé deux fois sur le pont; les flexions observées directe-

ment, au moyen de fils de fer tendus à l'amont et à l'aval de chaque arche, le long du parapet, ont été sensiblement les mêmes dans toutes les arches : elles ont été en moyenne de 0.004.

Résultat des observations par arches.

NUMÉROS DES ARCHES.	AMONT.	AVAL.	OBSERVATIONS.
1re arche.............	0.0060 0.0050	0.0035 0.0040	» »
2e arche.............	0.0040 0.0040	0.0030 0.0040	» »
3e arche.............	0.0045 0.0040	0.0050 0.0050	» »
4e arche.............	0.0035 0.0030	0.0040 0.0045	» »

CHAPITRE V

Dépenses.

Les dépenses de démolition et de reconstruction du pont se sont élevées à la somme de 428,616 fr. 58 c.

Cette somme se décompose ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PILE n° 1.	PILE n° 2.	PILE n° 3.	CULÉE rive gauche.	CULÉE rive droite.	Superstructure du pont.	TOTAUX par nature d'ouvrages.
Démolition.							
Démolition au-dessus de l'eau. Enlèvement des assises..........	1.600.42	1.674.85	210.92	»	»	»	3.486.19
Démolition au-dessous de l'eau. Draguage de l'enrochement.....	9.183.36	9.183.36	9.192.33	»	»	»	27.559.05
Armature de la passerelle.......	606.98	302.80	699.30	»	»	»	1.609.03
Enceinte extérieure. Bois......	14.183.93	14.308.77	13.158.70	»	»	»	41.651.40
Enceinte extérieure. Fers......	1.166.85	1.301.60	1.210.40	»	»	»	3.678.85 [1]
Enrochements................	6.033.58	7.145.50	2.231.80	»	»	»	15.410.88
Enceinte intérieure. Bois.......	2.557.59	2.708.21	2.865.90	»	»	»	8.131.70
Enceinte intérieure. Fers.......	244.55	244.55	244.50	»	»	»	733.60 [2]
Béton de toute nature..........	22.720.27	26.279.98	21.637.69	»	»	»	70.637.94
Terre dans les batardeaux......	399.87	464.97	531.80	»	»	»	1.396.64
Épuisements.................	3.470. »	4.870. »	3.455. »	»	»	»	11.795. » [3]
Enlèvement des assises au-dessous de l'eau..................	437.68	1.161.57	945.58	»	»	»	2.544.83
A reporter......	62.605.03	69.646.16	56.383.92	»	»	»	188.635.11

OBSERVATIONS. — 1. Total pour l'enceinte extérieure : 45.330.25. — 2. Total pour l'enceinte intérieure : 8.865.30. — 3. Cet article s'applique aussi aux épuisements pendant la reconstruction.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PILE n° 1.	PILE n° 2.	PILE n° 3.	CULÉE rive gauche.	CULÉE rive droite.	Superstructure du pont.	TOTAUX par nature d'ouvrages.
Report......	62.605.03	69.646.16	56.383.92	»	»	»	188.635.11
Reconstruction.							
Reconstruction au-dessous de l'eau.	2.114.16	2.502.97	3.182.90	»	»	»	7.800.03
Reconstruction des piles au-dessus de l'eau.	6.965.20	8.606.74	14.507.61	»	»	»	30.079.55
Réparation des culées. Démolition.....	»	»	»	266.87	366.21	»	633.08
Réparation des culées. Reconstruction..	»	»	»	1.173.06	1.540.24	»	2.713.30[1]
Cintres et partie métallique......	»	»	»	»	»	161.939. »	161.939. »[2]
Maçonnerie sur les arcs.							
Voûtes en briques pour la chaussée.	»	»	»	»	»	11.569.18	11.569.18
Voûtes en briques pour les trottoirs.	»	»	»	»	»	2.810.70	2.810.70[3]
Achèvement des piles et des culées, corbeaux, etc.	1.069.87	1.071.79	2.127.25	498.05	707.06	»	5.474.02
Béton sur les voûtes de la chaussée.	»	»	»	»	»	948.52	948.52
Chape....................	»	»	»	»	»	3.289.04	3.289.04
Sable et chaussée.............	»	»	»	»	»	1.497.85	1.497.85
Bordure de trottoirs..........	»	»	»	»	»	1.702.65	1.702.65
Caniveaux................	»	»	»	»	»	1.690.46	1.690.46
Béton sur les voûtes des trottoirs.	»	»	»	»	»	1.044.37	1.044.37
Mortier et asphalte...........	»	»	»	»	»	2.285.17	2.285.17
Régie pour les batardeaux, épuisements, travaux divers........	1.293.66	1.443.46	1.304.21	231.60	231.60	»	4.504.53
Totaux.........	74.047.92	83.271.12	77.505.89	2.169.58	2.845.11	188.776.94	428.616.58

OBSERVATIONS. — 1. Total pour la restauration des deux culées : 5,014.89. — 2. Prix à forfait. — 3. Total pour les voûtes : 14,379 fr. 88 centimes.

Le tableau précédent présente les dépenses par nature d'ouvrages et pour chaque partie du pont.

La longueur du pont, y compris les culées, est de 143^{m}.20.

Le prix par mètre superficiel est alors de :

$$\frac{428.616.58}{143.20 \times 8} = 374 \text{ francs.}$$

Personnel.

Les travaux ont été exécutés sous la direction immédiate de M. R. Bonnin, agent-voyer en chef du département de l'Eure; MM. Bontemps et Herpin (Alfred), agents-voyers, détachés du service ordinaire, étaient chargés de la surveillance des travaux et résidaient à Saint-Pierre.

M. Georges Martin, ingénieur à Paris, était l'entrepreneur général des travaux, et avait comme ingénieur directeur M. Badois; son représentant sur les travaux était M. Belin, ingénieur civil.

Avant de terminer ce mémoire, déjà bien long, nous devons faire nos remerciements à M. Herpin (Alfred), qui a bien voulu, pendant son séjour sur les travaux et au milieu d'une surveillance très-active, se charger de la mise en ordre de toutes les notes journalières, calculs et dessins relatifs à la notice que nous publions aujourd'hui : c'est lui qui a tenu, avec beaucoup de soin, le journal des travaux qui nous a été d'un si grand secours, et nous a permis de coordonner notre travail.

TABLE DES MATIÈRES.

NOTE

SUR LES

FOURS SIEMENS

PAR

M. G. BOISTEL.

Lorsque j'ai demandé à faire une communication sur les fours Siemens, je n'ai pas eu l'intention de venir, à mon tour, vous parler de la supériorité des fours à gaz sur les fours à chauffage direct, et vous faire notamment l'apologie du four Siemens. Plusieurs de nos collègues nous ont déjà entretenus de cette intéressante question, et je pense que personne parmi nous ne met en doute les avantages des fours à gaz et à utilisation de la chaleur perdue sur les fours ordinaires. Mon désir était, avant d'aborder la discussion de la communication de M. Périssé sur les fours Ponsard, afin de poser la question sous son véritable jour, de vous présenter un court historique de l'invention de MM. Siemens, et de vous faire connaître par quel enchaînement d'idées, par quelle suite d'études et de travaux laborieux, M. C. W. Siemens, de ses premiers essais, en 1847, sur l'équivalent mécanique de la chaleur, était finalement arrivé à son système de chauffage, si simple et si ingénieux, qui a reçu depuis 1861 une application considérable dans les diverses branches de l'industrie.

Je voulais, par ce court historique, établir que c'est à MM. C. William et Frédéric Siemens que revient incontestablement le mérite d'avoir rendu pratique et vulgarisé l'application du chauffage au gaz, et d'avoir su tirer de la régénération de la chaleur les immenses avantages qu'elle permet de réaliser. Je vous aurais démontré, en passant, que les divers systèmes qu'a fait surgir depuis quelques années le succès des procédés de MM. Siemens ne sont, pour la plus grande partie, que des modifications plus ou moins heureuses des dispositifs décrits ou adoptés par eux.

Mais notre Président, auquel j'ai soumis mon travail, a bien voulu me

faire observer que ces considérations intéressaient peu notre Société, et que nous devions éviter de soulever des questions de propriété, ou de priorité d'inventions, pour n'envisager qu'au point de vue technique les différents systèmes ou procédés dont nous nous entretenons.

J'ai donc éliminé de mon Mémoire tout ce qui n'est pas purement technique, et je me bornerai aujourd'hui, après avoir discuté, uniquement au point de vue du four Siemens, la communication de M. Périssé sur les fours Ponsard, à vous présenter quelques notes sur les recherches métallurgiques de M. W. Siemens, et sur ses procédés actuels de fabrication du fer et de l'acier.

Je me plais, tout d'abord, à constater que le travail de M. Périssé est rédigé dans un esprit impartial, et qu'il a fait l'éloge du four Siemens en reconnaissant les services qu'il a rendus et qu'il est appelé encore à rendre à l'industrie, en général, et à la métallurgie, en particulier; je lui demanderai seulement la permission de rectifier en passant quelques-unes de ses idées sur les difficultés dont il croit entourée la conduite d'un four Siemens.

Je ne suivrai pas M. Périssé dans les calculs laborieux auxquels il a dû se livrer pour dresser les intéressants tableaux qu'il vous a présentés dans son Mémoire, et qui doivent être le résultat d'observations longues et minutieuses. J'envisagerai la question à un point de vue moins théorique, et, pour suivre l'ordre naturel, adopté par M. Périssé, je vous parlerai d'abord du gazogène de MM. Siemens. Je n'en dirai que peu de chose, car il n'a jamais été critiqué; il a été, au contraire, purement et simplement copié dans tous ses détails par presque tous les imitateurs de MM. Siemens. Or, sans doute avant eux l'emploi des gaz était connu, mais tous ces gaz provenaient de gazogènes soufflés; Ebelmen lui-même, dans ses Mémoires, n'indique et n'étudie que des gazogènes à vent forcé. Cette sorte de gazogènes présente des difficultés, à cause des cendres qui se fondent, et qui obligent à des arrêts fréquents pour les décrassages, ou à des complications pénibles pour les ouvriers. Le gazogène Siemens, à l'air libre, avec son plan incliné pour la descente du combustible, et sa grille à gradins, a été un des éléments importants de la réalisation pratique du chauffage au gaz, et M. Périssé n'était pas suffisamment renseigné lorsqu'il nous disait que le gazogène de M. Ponsard diffère de celui de MM. Siemens en ce qu'il est muni d'une grille inférieure. Depuis sept ou huit ans nous adoptons dans un grand nombre de cas, suivant les qualités du combustible, cette grille inférieure. Elle n'est, d'ailleurs, pas nécessaire pour tous les combustibles, et elle est moins économique que la grille entièrement à gradins, qui ne laisse pas, comme elle, tamiser les escarbilles.

Dans certains cas, avec des houilles anthraciteuses, ou menues et sales, on a trouvé un grand avantage à souffler de l'air devant la grille, le cendrier étant fermé par une porte en tôle. Cette insufflation se fait

très-aisément à l'aide d'un appareil simple et ingénieux imaginé par M. William Siemens, analogue à l'injecteur Giffard, mais agissant sur de l'air au lieu d'agir sur de l'eau; un simple jet de vapeur suffit pour déterminer l'appel, et il n'est besoin d'aucun mécanisme. Grâce à cet appareil, des gazogènes qui, comme ceux de l'usine à aciers Siemens, de Landore, près Swansea, ne pouvaient convertir en gaz par vingt-quatre heures que 1,000 à 1,200 kilogrammes de charbon menu et très-sec, le *free coal* de Swansea, ont pu en convertir plus du double, soit 3,000 kilogrammes, avec une très-faible consommation de vapeur, environ 5 kilogrammes par heure; comme, d'ailleurs, la vapeur se trouve mélangée avec l'air injecté, elle est facilement décomposée, et enrichit le gaz en hydrogène et en oxyde de carbone.

Lorsqu'on veut décrasser un gazogène, on arrête le jet de vapeur devant sa grille et on ouvre le cendrier : la production du gaz ne se trouve pas arrêtée pour cela; elle n'est que faiblement diminuée, et comme, généralement, il y a dans les usines une série de gazogènes alimentant une série de fours à l'aide d'un collecteur de gaz commun et de branchements spéciaux, on ne s'aperçoit nullement aux fours de ce léger ralentissement momentané dans la production des gazogènes.

Je ne crois pas qu'il puisse en être de même avec les gazogènes surchauffés de M. Ponsard : l'absence de grilles et la fusion des crasses doivent rendre la marche difficile; et, si j'en crois certains renseignements, outre que les avantages qu'on en espérait ne se seraient pas réalisés, il serait presque impossible de conserver en bon état les matériaux réfractaires dont ils sont construits. M. Siemens lui-même a essayé, dès 1863, une disposition analogue de gazogène surchauffé; mais, les résultats n'ayant pas répondu à son attente, il s'en est tenu à son appareil ordinaire, si simple et si efficace.

Quant à la composition des gaz, je ne vois pas qu'elle doive être différente dans le gazogène Ponsard de ce qu'elle est dans le gazogène Siemens : le gazogène, M. Périssé le reconnaît, est le même dans les deux systèmes, et la grille inférieure, qui existe toujours dans le gazogène Ponsard, ne peut que diminuer, avec des combustibles pour lesquels cela est inutile ou dangereux, l'épaisseur de la couche de combustible, élever par conséquent la température des gazogènes, et augmenter la teneur des gaz en acide carbonique. C'est là, à mon sens, la seule différence qui puisse exister dans la composition des deux gaz ; et, d'ailleurs, M. Périssé tire cette conclusion des analyses mêmes qu'il présente, en disant que la proportion d'acide carbonique est un peu plus forte, et celle de l'oxyde de carbone un peu plus faible dans les gaz Ponsard que dans les gaz Siemens, et en ajoutant que les chiffres qu'il donne à l'appui de cette assertion sont des moyennes d'un assez grand nombre d'opérations, tandis que, pour les teneurs qu'il cite en hydrogène, hydrocarbures et azote, on ne doit pas, dit-il, les considérer comme exactes.

J'accorde que les gaz Siemens sont moins riches en hydrocarbures, à cause des dépôts dans les conduites; mais la proportion d'azote doit être à peu près la même dans les deux cas, et l'on ne tient généralement pas un compte suffisant de cet élément *inerte:* en effet, s'il ne développe pas de chaleur dans le four, il en emporte, au contraire, une quantité assez notable; entrant dans le four à la température des gaz dans le haut du gazogène, température que je ne puis admettre, dans une bonne marche, aussi élevée que le dit M. Périssé, et que j'ai plusieurs fois constatée inférieure à 600° dans les gazogènes Siemens, il s'échauffe dans le four, et s'échappe à la température même du four, en emportant une quantité de chaleur, fonction de la différence entre ses températures d'entrée et de sortie, c'est-à-dire de 900°, si je suppose que la température du four soit de 1,500°. C'est là, même, une des considérations qui ont conduit MM. Siemens à chauffer aussi les gaz avant leur entrée dans le four: car, si les gaz pénètrent dans le four en sortant des régénérateurs, à la température de 1,200°, par exemple, la quantité de chaleur emportée par l'azote n'est plus fonction que de 300°, au lieu de 800°.

Ce chauffage préalable des gaz est, d'ailleurs, presque une nécessité pour que le système soit rationnel, et M. Ponsard sent très-bien que l'absence du chauffage des gaz constitue une infériorité pour son appareil : aussi propose-t-il d'y remédier en plaçant une chaudière à la suite du récupérateur, et M. Périssé parle pour cela de faire sortir les fumées un peu plus chaudes en diminuant le récupérateur. Autant, alors, le supprimer tout à fait : car, ainsi qu'il le dit, la solidarité des fours avec les chaudières présente des inconvénients. Que sera-ce si entre le four et la chaudière vient encore se placer le récupérateur? On aura trois chances d'arrêts au lieu de deux !

C'est également en présence de cette insuffisance d'utilisation de son récupérateur que M. Ponsard a essayé le gazogène surchauffé, ce qui était un moyen détourné d'élever la température des gaz et d'utiliser plus complétement le récupérateur en doublant le volume d'air à chauffer. Mais, outre les difficultés de conduite et de conservation du gazogène, et de l'augmentation des dimensions du récupérateur et du coût d'établissement des fours, je doute qu'il soit bien pratique de diviser la masse d'air qui chemine dans le récupérateur en deux parties, dont l'une entre librement dans la chambre de combustion du four, tandis que l'autre doit traverser une couche épaisse de combustible plus ou moins bitumineux; les conditions de tirage sont tout à fait différentes, et je prévois de grosses difficultés et des arrêts coûteux, si l'édifice délicat des briques composant le récupérateur vient à se déranger par suite de la dilatation ou de la contraction : les tirages se contrarieront, et finalement le gaz passera dans la cheminée au lieu de se rendre dans le four. Il y aura alors à craindre des explosions, plus, je crois, que dans le four Siemens, où elles ne peuvent se produire que lors de la mise en

marche, et encore faut-il que l'on ait négligé les quelques précautions élémentaires qui permettent de les éviter à coup sûr.

Au sujet du régénérateur ou du récupérateur, je dirai que dès le début de leur invention MM. Siemens avaient essayé la disposition suivant laquelle l'air servant à la combustion est seul chauffé par échange de température avec les produits de cette combustion à travers de minces cloisons réfractaires formant une série de conduits pairs pour le passage de l'air et impairs pour l'évacuation des fumées, conduits dans lesquels la circulation est continue et le sens du mouvement invariable. Ce n'est que lorsqu'ils ont reconnu, à la suite de leurs essais laborieux, l'utilité du chauffage préalable des gaz, de même que de l'air, que MM. Siemens ont été conduits à l'éloignement des gazogènes des fours qu'ils devaient alimenter, et à l'inversion des courants, pour lesquels ils ont imaginé leurs valves de renversement.

On a souvent cherché à effrayer les industriels par la prétendue complication de cette disposition et la difficulté de la manœuvre des valves de renversement. Cette difficulté est illusoire: quiconque a vu un four Siemens en marche peut se rendre compte de la simplicité de cette manœuvre, qui consiste purement à faire décrire, à des intervalles variant d'une demi-heure à une heure, un angle de 90° au plus à deux leviers de 1 mètre de long. C'est assurément là une manœuvre bien simple. On a, de plus, représenté cette opération comme une cause d'irrégularité dans la marche du four, tandis qu'elle est, au contraire, un régulateur puissant de la répartition de la chaleur dans toute la capacité du four, qu'elle permet de chauffer, comme dans les usines de la Compagnie de Saint-Gobain et dans plusieurs glaceries belges et anglaises, des fours contenant vingt et vingt-quatre cuvettes, et ayant une longueur intérieure de plus de onze mètres, sans que l'on soit exposé à ce que les cuvettes les plus proches de l'entrée des gaz dans le four soient en avance ou en retard sur celles placées près de la sortie des produits de la combustion. Ce renversement des courants permet encore, dans les opérations de soudage ou de réchauffage des forts paquets de fer ou des grosses pièces de forge, d'éviter le retournage du paquet ou de la pièce, opération toujours pénible, et quelquefois dangereuse : la flamme arrivant tantôt à droite, tantôt à gauche, régularise admirablement la température sur tout le pourtour de la pièce ou du paquet. Cet avantage est très-sensible dans les grands fours à réchauffer, comme ceux de sir William Armstrong, par exemple, dans lesquels on chauffe des pièces pesant jusqu'à 7,000 kilogrammes, destinées à la fabrication des canons, et dans les fours tels que ceux d'Ebbw-Vale, qui ont 6 mètres 1/2 de longueur intérieure et 8 portes, et dans lesquels on réchauffe à la fois 24 lingots Bessemer de 500 kilogrammes chacun, soit 12 tonnes d'acier en 4 heures, ou 72 tonnes par 24 heures, avec une consommation de houille qui ne dépasse pas 175 kilogrammes pour 1000

d'acier. Le renversement des courants gazeux n'est donc pas une difficulté, ni une manœuvre inutile; il présente, au contraire, des avantages importants dans presque toutes les applications.

Je sais qu'à la Compagnie parisienne du gaz on a éprouvé des difficultés avec le four Ponsard, par suite de l'insuffisance du chauffage des cornues de la rangée verticale du milieu, qui n'étaient chauffées que par le bout de la flamme, l'arrivée se faisant le long des parois latérales du four et la sortie dans l'axe; on a dû modifier cette disposition. Et, puisque j'ai l'occasion de parler des applications faites par la Compagnie parisienne du gaz, je demanderai à M. Jordan la permission de rectifier l'opinion qu'il a émise dans la séance du 23 janvier 1874 au sujet des applications du four Siemens faites par cette Compagnie. C'est une des premières Sociétés qui aient adopté le four Siemens en France. Dès le mois de novembre 1861, elle traitait avec M. Siemens, qui lui remettait des plans en mars 1862, et les constructions furent commencées à l'usine à gaz de Vaugirard peu de temps après, si bien qu'en août 1863 on mettait le feu à la première batterie de 128 cornues, établie exactement sur les plans de M. Siemens. Un an après, environ, on allumait une deuxième batterie de 128 cornues, sans avoir encore rien changé aux plans. Ce n'est que lorsque la Compagnie commença l'installation dans son usine de Saint-Mandé que, le niveau des halles de distillation se trouvant à 5 mètres au-dessus du sol des cours, et ayant la possibilité de descendre encore à 4 mètres plus bas pour installer les gazogènes, elle profita de cette hauteur considérable de 9 mètres pour superposer les différentes parties des fours, plaçant les gazogènes au-dessous du sol, les régénérateurs entre le niveau des cours et celui des halles, et les fours, enfin, dans les halles. Cela lui permit de supprimer les conduites aériennes de gaz; mais c'est là, je crois, le seul changement apporté aux plans primitifs de M. Siemens. C'est sans doute cela que l'on vous a désigné sous le nom de four Arson-Siemens.

L'économie réalisée dans ces fours est en moyenne de 25 °/₀. On ne constate aucune différence entre la consommation des fours où les gaz arrivent refroidis dans les conduites aériennes, et celle de ceux où ils viennent directement des gazogènes. La Compagnie a allumé au mois d'août dernier, à Saint-Mandé, une nouvelle batterie de 128 cornues chauffées par le système Siemens, et en a une autre pareille toute prête, et dont la mise en service n'a été retardée que par des installations de conduites: ce qui porte le total des cornues chauffées ou prêtes à être chauffées par le procédé Siemens à 640 dans les deux usines de Vaugirard et de Saint-Mandé, les seules, malheureusement, qui soient à deux étages, et dans lesquelles l'élévation des batteries au-dessus du sol des cours et du niveau de l'eau permette l'installation de fours exigeant des constructions inférieures.

J'ajouterai, pour en terminer avec le renversement, que les valves, qui sont en fonte, ne sont nullement exposées à se voiler, comme le dit M. Périssé. Depuis douze ans que je m'occupe des fours Siemens, et j'en ai fait établir plus de 250, je n'ai pas vu un seul exemple de détérioration des valves. La température des produits de la combustion, à leur sortie, n'est jamais, à beaucoup près, lorsqu'on renverse les valves régulièrement, assez élevée pour qu'elles courent le risque d'être fondues.

Il n'est pas étonnant que le récupérateur Ponsard soit moins puissant que les régénérateurs Siemens. D'abord, outre qu'il est plus sujet à s'obstruer par des cendres et poussières, provenant soit du four, soit du gazogène, car les cendres ne peuvent se déposer en route, comme dans les conduites de gaz Siemens, il n'agit que par transmission de la chaleur à travers des parois réfractaires, mauvaises conductrices, tandis que dans le régénérateur Siemens c'est la même surface qui a absorbé la chaleur des produits de la combustion pendant une période de renversement, qui la rend directement, pendant la période suivante, au gaz ou à l'air qu'il s'agit de chauffer. Les régénérateurs Siemens, qui consistent en quatre chambres en maçonnerie, remplies de briques en chicane posées à sec, sont d'une construction extrêmement facile et sûre, et je ne puis admettre que la disposition de l'appareil Ponsard, dont la construction exige des soins tout particuliers, de l'aveu même de M. Périssé, permette, comme il le dit, « d'obtenir la récupération de la chaleur d'une manière *beaucoup plus simple* que le système Siemens. »

Je ne puis admettre, non plus, que le prix d'établissement de son four soit, à puissance égale, deux fois moindre que celui des fours Siemens correspondants. Il n'a pas, il est vrai, le tuyau de conduite des gaz ni les valves, ce qui entre pour 4,000 francs environ dans la construction d'un four à réchauffer de dimensions moyennes, dont j'estime le coût à 12,000 francs; mais je ne vois pas qu'il puisse réaliser une économie dans la construction du gazogène, qui est le même dans les deux systèmes, ni dans celle du récupérateur, qui est plus compliqué et plus coûteux, et qui devrait être, pour produire le même résultat, d'une capacité plus grande.

Si le prix d'établissement du four Ponsard est moins élevé que celui du four Siemens, c'est que son récupérateur est plus petit, moins efficace; et, en effet, il laisse sortir les produits de la combustion à 600°. Il est vrai qu'il ne saurait utiliser la chaleur qui se perd ainsi : car le volume d'air qu'il a à chauffer et qui, finalement, ne peut acquérir une température supérieure, pas même à beaucoup près égale à celle des produits de la combustion à leur sortie du laboratoire du four, est insuffisant pour absorber la quantité de chaleur que pourraient abandonner, sans nuire au tirage, les produits de la combustion.

C'est là une des raisons d'être du régénérateur à gaz, et le refroidis-

sement préalable du gaz n'est pas une inutilité ni une cause de perte de chaleur, ainsi qu'on veut bien le dire. Il n'est pas inutile : car c'est lui qui donne la possibilité de faire descendre le gaz pour l'introduire à la partie inférieure du régénérateur, et qui permet d'établir les gazogènes à une distance quelconque des fours, centralisant ainsi la consommation du combustible et l'enlèvement des crasses, évitant le roulage du charbon et des cendres au milieu des ateliers, et réduisant l'espace occupé par les fours, tandis que le système Ponsard l'augmente.

Il permet également la condensation de la vapeur d'eau contenue dans les gaz; ce qui a une importance notable dans les opérations métallurgiques de puddlage et de réchauffage, et diminue considérablement le déchet. Ce refroidissement des gaz ne cause pas non plus une perte finale de chaleur, car ce que l'on perd avant on le retrouve après. Si, en effet, les gaz entraient à la partie inférieure du régénérateur à une température voisine de celle de leur formation, disons 600°, ce serait là également la température minima des briques du bas du régénérateur, et les produits de la combustion, en léchant ces briques au moment où ils passent dans la cheminée, ne se refroidiraient au plus qu'à cette température de 600°. En admettant donc que les gaz se refroidissent dans le régénérateur à la température suffisante et nécessaire pour que le tirage ait lieu (ce qui se passe dans la pratique), il n'y a pas perte de chaleur : ce que je vous ai dit tout à l'heure de l'égalité de la consommation dans les fours Siemens des deux dispositions de la Compagnie parisienne en est la preuve.

Quelques chiffres mettront ce fait en évidence.

En admettant, avec M. Krans, dont M. Périssé a plusieurs fois cité les chiffres, que 100 kilogrammes de houille, abstraction faite des cendres, produisent 602 kilogrammes de gaz combustibles, dont la capacité calorifique est 161, nous trouvons que, pour un abaissement de température de 450° (en supposant, ce qui est presque généralement le cas, que les gaz sortent du gazogène à 600° et arrivent à la valve à 150°), nous trouvons, dis-je, que la perte de chaleur sera de 72,450 calories.

La combustion dans le four de ces 602 kilogrammes de gaz, en admettant, ce qui est exagéré, un excès d'air de 20 pour 100, donnera 1,386 kilogrammes de gaz brûlés, dont la capacité calorifique est 340. En admettant encore une différence de 450° entre les températures d'évacuation des produits de la combustion dans le four Siemens et dans le four Ponsard, les températures respectives étant de 600° et de 150, on retrouvera là, dans le four Siemens, une quantité de chaleur de 153,000 calories. Le gain final, déduction faite de la perte due au refroidissement des gaz avant leur admission dans le four, sera donc, grâce à l'action plus complète des régénérateurs et au réchauffage des gaz, de 80,550 calories, ce qui représente $13^{k},75$ de houille. J'admets, avec M. Krans et M. Périssé, que la perte due au renversement des

courants gazeux, et aux dépôts de goudrons dans les conduites, soit de 4 pour 100 de la consommation totale, et je trouve encore en faveur du Siemens une économie de 9,75, soit près de 10 pour 100 sur le four Ponsard avec gazogène ordinaire.

J'arrive donc à un résultat bien différent de celui auquel est arrivé M. Périssé, par des considérations beaucoup moins théoriques et moins savantes, mais, du moins, par des calculs uniquement basés sur l'observation de faits simples et faciles à contrôler, sans avoir besoin de recourir à des formules, dont l'exactitude n'est pas établie d'une façon indiscutable, relatives à la transmission par les parois des gazogènes et des régénérateurs. Je crois, du reste, qu'il n'y a pas à tenir compte de cet élément dans la comparaison entre les deux systèmes que je considère : car, si le récupérateur Ponsard est moins volumineux que les régénérateurs Siemens, la température moyenne y est plus élevée, et, par conséquent, la perte par les parois, qui est fonction de la différence des températures intérieure et extérieure, doit être à peu près la même. Quant aux gazogènes, M. Périssé dit que la perte par rayonnement doit être plus forte dans le Siemens que dans le Ponsard, parce que l'allure plus lente (et par conséquent moins chaude) du Siemens oblige à avoir plus de générateurs, présentant une plus grande surface de déperdition. La même observation que pour les régénérateurs s'applique ici; en ne raisonnant qu'à ce point de vue, la lenteur de l'allure des gazogènes Siemens, et leur basse température relative, compenseraient l'augmentation de la surface de déperdition. D'ailleurs, j'ai dit plus haut que je considère que la qualité du gaz est meilleure avec une allure relativement lente et froide, et j'ai toujours obtenu de meilleurs résultats, et une teneur moins forte en acide carbonique, avec des gazogènes marchant au rouge sombre, atteignant tout au plus le rouge cerise, qu'avec une allure plus chaude.

Je pense avoir répondu aux objections qui ont été faites en plusieurs circonstances au système de chauffage de MM. Siemens, et avoir démontré ce qu'elles ont de peu fondé.

En résumé, je ne crois pas qu'aucun autre mode de chauffage permette de fabriquer, par exemple, comme le font certaines usines, de 150 à 200 tonnes d'acier par jour avec un ensemble de fours et de foyers dont la construction coûte moins, dont l'entretien soit moins onéreux, dont la consommation de combustible soit moindre, dont le service exige un personnel moins nombreux, et dont les déchets atteignent une moindre proportion que dans une usine montée avec les fours Siemens pour une pareille fabrication.

Mais je ne veux point prolonger cette discussion déjà trop longue, et j'ai hâte d'aborder un sujet moins abstrait et de vous entretenir des recherches métallurgiques de M. W. Siemens, et des résultats auxquels elles l'ont amené.

Tout d'abord le système Siemens se propagea rapidement, surtout dans les différentes branches de l'industrie verrière; le succès obtenu dès le début chez MM. Chance, à Birmingham, et dans les usines françaises de Saint-Gobain, Baccarat, Saint-Louis, décidèrent beaucoup d'autres applications, et il n'est pas aujourd'hui un seul four destiné à la fabrication du verre à glaces, tant en France qu'en Belgique et en Angleterre, qui ne soit chauffé par les procédés de MM. Siemens. Il en est presque de même des fours à fondre le cristal.

Leur application s'est beaucoup moins répandue dans la fabrication du verre à vitres et des bouteilles. Il y avait là, cependant, à réaliser des économies plus considérables encore que dans les autres branches de la verrerie; mais la routine des patrons et des ouvriers, plus sensible encore en verrerie que dans le reste de l'industrie, fut longue et difficile à vaincre, et je regrette d'avoir à constater que ce n'est qu'une très-faible partie des fabricants de verre à vitres ou de bouteilles qui ont adopté le système Siemens. Cependant cette industrie semble sortir de sa torpeur et sentir le besoin de suivre les progrès réalisés dans les arts métallurgiques; le nouveau mode de fusion et de fabrication du verre de MM. Siemens, perfectionné surtout par M. Frédéric Siemens, qui supprime les pots et permet de fondre le verre sur la sole d'un four, et d'une façon continue, avec une économie sur les anciens procédés variant de 50 à 70 pour 100, semble devoir régénérer l'industrie verrière; il y a déjà quatre de ces appareils en construction en France, et j'espère pouvoir bientôt vous parler des résultats obtenus dans l'un d'eux, qui fonctionnera d'ici à un mois.

Dès le début de l'invention, M. W. Siemens comprit l'importance du rôle qu'elle était appelée à jouer dans l'industrie métallurgique. La possibilité d'obtenir, grâce à l'accumulation de la chaleur, des températures qui n'ont d'autres limites que la dissociation, et la résistance des matériaux composant les fours, jointe à la facilité de régler avec précision les conditions chimiques de la flamme, lui firent tout d'abord penser à la fusion de l'acier.

C'est en faisant ses essais sur la fusion de l'acier sur sole qu'il fut conduit à étudier le puddlage de la fonte.

Il avait pour but de déterminer s'il se passe une réaction quelconque entre la silice dont est faite la sole des fours à fondre l'acier, et la fonte liquide avec laquelle on commence l'opération. Il fit charger dans un de ses fours à fondre l'acier, dont la sole était faite de sable pur, 500 kilogrammes de fonte renfermant :

1.5 0/0 de silicium
et 4.0 0/0 de carbone,

en même temps que 50 kilogrammes de verre cassé.

Au bout d'une heure, le métal et le verre étant complétement fondus, on prit un échantillon qui donna :

Silicium..............................	1.08 0/0
Carbone..............................	2.90

Au bout d'une autre heure, un second échantillon donna :

Silicium..............................	0.96 0/0
Carbone..............................	2.40

A la fin de la troisième heure, le métal ne contenait plus que :

Silicium..............................	0.76 0/0
Carbone..............................	2.40

La quantité de silicium avait donc notablement diminué, ce qui prouve que le métal fondu ne prend pas de silicium à la silice ou aux silicates avec lesquels il est en contact; mais la proportion de carbone avait peu changé, et le métal était excessivement dur.

On fit alors des additions successives d'hématite, sans agiter le bain, et l'on observa de temps en temps leur effet sur le métal liquide. A la fin de la cinquième heure, les échantillons avaient un caractère tout à fait doux, et à la fin de la sixième heure on coula le métal; il contenait alors :

Silicium..............................	0.046 0/0
Carbone..............................	0.250

Ainsi, le silicium d'abord, puis le carbone, avaient été presque entièrement éliminés par le contact intime de la fonte avec l'oxyde métallique, sous une couche protectrice de verre fondu, et, par conséquent, sans contact avec l'air.

La quantité d'hématite ajoutée au bain s'élevait à 100 kilogrammes, et le poids du métal coulé à 503 kilogrammes, ce qui donnait une légère augmentation sur le poids de la fonte chargée.

Cette fonte contenait :

Silicium..............................	1.5 0/0
Carbone..............................	4.0
Total................	5.5

et, comme le métal coulé ne renfermait en tout, silicium et carbone, que 0.296 °/₀, il y avait donc un gain de

$$5.5 - 0.296 = 5.204\ \%:$$

soit, y compris les 3 kilogrammes d'augmentation de poids, un gain total de 5.8 °/₀ de fer.

Cette expérience permit à M. Siemens d'affirmer que le départ du silicium et du carbone de la fonte, dans le procédé de puddlage ordi-

naire, est entièrement dû à l'action des oxydes de fer fluides contenus dans le bain, et que ce bain s'augmente d'une quantité équivalente de fer métallique réduit de ces oxydes. Il prouva ainsi que l'on peut puddler sur une sole en silice, ce qui n'avait jamais été constaté avant ses expériences.

Les travaux antérieurs de quelques métallurgistes avaient bien démontré que le départ du silicium s'effectue bien avant celui du carbone, mais on attribuait l'oxydation de ces deux corps à l'action oxydante de la flamme; on croyait qu'on ne pouvait obtenir du fer de qualité qu'avec un déchet de 10 à 12 pour 100, tandis que M. Siemens prouva que dans un puddlage au gaz, bien conduit, sans nuire à la qualité, la quantité de fer obtenu doit être supérieure à la quantité de fonte chargée si l'on a soin de fournir au bain une proportion d'oxyde de fer suffisante.

Plus la fonte est impure, c'est-à-dire chargée en carbone et en silicium, plus le rendement doit être grand relativement, car ces corps éliminés sont remplacés par des quantités de fer équivalentes.

Il est facile de déterminer la quantité de fer que peut ainsi donner le laitier.

Si l'on considère, en effet, le laitier comme formé d'un mélange de protoxyde et de sesquioxyde de fer, $FeO + Fe^2O^3$, soit Fe^3O^4, avec plus ou moins de silicate tribasique, $3FeO, SiO^3$, qui reste neutre dans l'opération, on voit que 4 atomes de silicium mettront en liberté 9 atomes de fer métallique, et 4 atomes de carbone 3 atomes de fer métallique. Si donc on suppose qu'après avoir été fondue, la fonte renferme environ 3 pour 100 de carbone et 2 pour 100 de silicium, au carbone se substitueront 10.5 atomes de fer, et au silicium 5.6, donnant une augmentation finale du poids du fer de

$$10.5 + 5.6 - 5 = 11.1\ \%.$$

Une charge de 200 kilogrammes de fonte de cette qualité devrait donc donner 222 kilogrammes de fer; et, si elle n'en donne ordinairement que 180, c'est qu'il y a 42 kilogrammes de fer brûlé pendant l'opération du ballage et du soudage des loupes.

Cet énorme déchet se conçoit facilement à cause de l'état spongieux du fer pendant la formation des loupes dans les fours ordinaires, où l'air qui rentre par la porte va brûler le métal. C'est cette facilité avec laquelle le fer à l'état d'éponges absorbe l'oxygène et le soufre qui existent dans l'atmosphère du four ou dans la flamme, qui a fait échouer jusqu'à présent la plupart des procédés de traitement direct des minerais de fer basés sur la fabrication des éponges de fer, à cause du déchet considérable qui y était inhérent. C'est cette raison qui a forcé M. Siemens à modifier ses premiers appareils et à adopter une méthode différente pour le traitement direct.

Le four Siemens, dans lequel on peut obtenir une température très-élevée tout en ayant une flamme neutre, et même réductrice, et dans lequel il n'y a pas à craindre de rentrée d'air par la porte, permet de diminuer considérablement l'écart que donnent les fours ordinaires entre les résultats théoriques indiqués ci-dessus et le rendement pratique. Dans un four à puddler Siemens, établi à Bolton, dans le Lancashire, on a obtenu les résultats suivants :

En 80 charges successives, la quantité de fonte introduite dans le four a été de 17,555 kilogrammes; et la quantité de fer produit, de 17,618 kilogrammes, c'est-à-dire un peu supérieure au poids de la fonte. La quantité d'hématite consommée pour le garnissage a été de 3,362 kilogrammes, soit un peu moins de 20 pour 100 du poids du fer ébauché.

J'ai relevé moi-même les consommations dans un four à puddler Siemens établi aux forges de Basse-Indre, près Nantes, pendant une période assez longue.

Pour 100 kilogrammes de fer ébauché on consommait 996 kilogrammes de fonte, 107 kilogrammes de minerai de Bilbao et 438 kilogrammes de houille. Le four alors en usage a été perfectionné par M. Siemens, qui a disposé, entre le laboratoire du four et les régénérateurs, des chambres de dépôt dans lesquelles s'arrêtent les sarrazins, ce qui permet de travailler six mois sans arrêts. Actuellement on produit dans ce four plus de 5,500 kilogrammes de fer ébauché par vingt-quatre heures.

L'application des fours Siemens au puddlage s'est cependant peu répandue en France jusqu'à présent. Des essais faits sur une grande échelle, en 1869, chez MM. de Wendel, à Styring, n'ont pas été satisfaisants : les fours étaient encore construits suivant l'ancienne disposition, et la qualité de la fonte, ainsi que l'emploi du puddlage mécanique Lemut, dont les résultats sont excellents avec les fours ordinaires, dans lesquels la production s'élève jusqu'à près de 7,000 kilogrammes de fer par 24 heures, furent, avec les fours Siemens, la cause de détérioration rapide des fours, par suite des projections de métal et de sarrazins dans les régénérateurs. On dut abandonner cette application.

Cet inconvénient n'est plus à craindre aujourd'hui avec la nouvelle disposition, mais la question des chaudières placées sur les fours arrête beaucoup d'industriels. Cependant, s'ils se rendaient un compte sérieux des avantages que présente le four Siemens, ils n'hésiteraient pas à renverser leur installation actuelle et à établir des fours et des chaudières indépendants. En effet, avec un four bien construit et bien mené, on peut être sûr d'obtenir poids pour poids, avec une consommation de 100 kilogrammes de minerai et de 420 kilogrammes de houille par tonne de fer ébauché. Un four Siemens remplace deux fours ordinaires; or, dans les fours ordinaires faisant un déchet de 10 pour 100, 5,500 kilogrammes de fonte ne donneraient que 4,950 kilogrammes de fer, et la consommation de houille, à raison de 650 kilogrammes par mille de fer,

serait de 3,217 kilogrammes. Le four Siemens donne 5,500 kilogrammes de fer et consomme 2,310 kilogrammes de houille. Les 3,217 kilogrammes de houille brûlés dans les fours ordinaires donneraient, à raison de 2^k^,5 de vapeur par 1 kilogramme de houille, 8,042 kilogrammes de vapeur. Les 907 kilogrammes de houille économisés par le four Siemens, et brûlés sous une bonne chaudière, produiront, à raison de 7 kilogrammes de vapeur par 1 kilogramme de houille, 6,349 kilogrammes de vapeur : il faudra donc brûler sous les chaudières $\frac{8042-6349}{7} = 242$ kilogrammes de houille ; à 15 francs la tonne, c'est une dépense de 3^f^,65 par jour. Mais on aura comme gain 550 kilogrammes de fer, qui, à 16 francs pour 100 kilogrammes, font une économie journalière de 88 francs. J'en déduis 3^f^,65 de houille et 550 kilogrammes de minerai à 30 francs la tonne, soit 16^f^,50 : il restera une économie journalière de 67^f^,85; disons 65 francs. En 300 jours de travail ce sera 19,500 francs économisés par un four à puddler dont le coût d'installation n'est guère, en moyenne, que de 12,000 francs. Je ne fais pas entrer ici en ligne de compte la différence de prix entre un four Siemens et un four ordinaire, attendu que, comme le premier en remplace deux des seconds, il y a compensation.

En ce qui concerne les fours à réchauffer, je vous ai dit quelques mots des résultats obtenus pour le réchauffage des lingots d'acier dans nos grands fours de Barrow, d'Ebbw vale et de Workington. Les avantages qu'ils présentent pour le réchauffage du fer ne sont pas moins importants. Malheureusement peu de nos métallurgistes français ont compris jusqu'ici cette importance. La production économique de la vapeur leur a semblé être l'objectif principal, et ils ont hésité à renverser des installations existantes pour établir des chaudières indépendantes des fours. Cependant un calcul analogue à celui que je viens de vous soumettre pour les fours à puddler ne laisse aucun doute sur l'avantage qu'offre une pareille transformation en présence d'une économie de 3 à 5 pour 100 sur les déchets; et il est remarquable que, en Angleterre, où, jusque vers ces dernières années, la houille a valu beaucoup moins cher qu'en France, l'application du four Siemens au réchauffage du fer a pris, à cause de l'économie sur les déchets, une beaucoup plus grande extension. L'économie de chauffage n'est, dans aucun cas, inférieure à 50 pour 100 : de telle sorte qu'en supposant que chaque kilogramme de houille brûlé sur la grille d'un four à réchauffer ordinaire produise 2^k^,5 et même 3 kilogrammes de vapeur, tandis qu'il en produirait 7 kilogrammes s'il était brûlé sur la grille d'une bonne chaudière, on voit que, tous comptes faits, il y aurait encore une économie de combustible en faveur du four Siemens. Mais l'économie de fer est autrement importante. Pour ne considérer qu'un four de dimensions ordinaires, passant, par exemple, 18 tonnes de fer fini par 24 heures, une économie de 3 pour 100 sur le déchet donnera par jour un béné-

fice de 540 kilogrammes de fer, qui, à 18 francs pour 100 kilogrammes, ne font pas moins de 97 francs par jour, ou près de 30,000 francs dans une année; or le prix d'un tel four n'est pas supérieur à 15,000 francs : le placement, vous le voyez, est avantageux.

Ainsi que je vous l'ai dit tout à l'heure, c'est en étudiant la fabrication de l'acier sur la sole de son four que M. Siemens fut conduit à ses essais sur le puddlage. Dès le début, en effet, de son invention, il avait envisagé la fabrication de l'acier et indiqué l'importance que présentaient ses perfectionnements pour cette branche de l'industrie.

Longtemps avant lui, Réaumur et d'autres avaient indiqué le mode d'obtention de l'acier consistant à transmettre le carbone d'un bain de fonte à du fer doux incorporé dedans suivant des proportions judicieuses. Mais tous, en signalant ce moyen d'obtenir l'acier, constataient l'impossibilité où l'on était alors de le réaliser industriellement, faute de pouvoir développer pratiquement et économiquement des températures suffisantes.

Dès qu'il se fut rendu compte de la puissance remarquable de son système de chauffage, M. Siemens s'appliqua, en Angleterre, à perfectionner ce procédé. Il y travailla plusieurs années, tandis que MM. Martin, de leur côté, poursuivaient le même but en France. Il y a déjà plus de six ans que le succès a couronné leurs efforts, et vous connaissez tous, au moins de nom, le procédé Martin-Siemens, qui a permis à nos usines métallurgiques de livrer à la consommation des quantités considérables d'aciers si recherchés aujourd'hui par diverses branches de l'industrie.

A propos de ce procédé, qu'il me soit permis de vous signaler une erreur que l'on commet souvent. Presque toutes les fois que l'on a occasion de parler de l'acier fondu ou fabriqué sur la sole de fours Siemens au moyen de la dissolution dans un bain de fonte initial de riblons de fer ou d'acier, on nomme le produit « acier Martin », et quelques personnes vont même jusqu'à dire « four Martin » en parlant du four où se fait cette opération. Ces dénominations sont inexactes.

Je sais bien que, pour beaucoup de personnes au courant de la question, ce n'est là qu'une simplification de langage, une abréviation; mais, comme ces appellations se retrouvent très-souvent, même dans des documents ayant un certain caractère officiel, et que plusieurs fois dans cette enceinte on vous a parlé des « fours Martin » et de « l'acier Martin », je tiens à vous rappeler que le four employé pour cette fabrication n'est que le four Siemens disposé de façon à avoir une très-grande puissance : on doit donc dire « four Siemens » purement et simplement.

Il n'en est pas de même lorsqu'on parle du procédé de fabrication ou du produit fabriqué, qui doivent s'appeler « procédé » ou « acier Martin-Siemens ».

Vous savez quelle importance a pris ce procédé dans la métallurgie de l'acier : il est actuellement pratiqué dans une cinquantaine de fours en

France, et dans un nombre au moins égal en Angleterre; certaines usines, celle de Terrenoire, par exemple, en France, et plusieurs usines anglaises, produisent jusqu'à 18 et 20 tonnes d'acier par four, en 24 heures.

Dans ce procédé Martin-Siemens on a surtout en vue l'utilisation des déchets de la fabrication Bessemer, ou des riblons de fer et d'acier, bouts de rails et autres déchets, et l'on n'emploie comme dissolvant, au début de l'opération, qu'un bain de fonte dont le poids est à peu près le cinquième de celui de l'acier que l'on veut couler. Ce procédé est un annexe presque obligé des convertisseurs Bessemer.

M. Siemens a cherché à remplacer l'opération Bessemer et à affiner à la fois une quantité de fonte égale à celle que l'on traite dans le convertisseur Bessemer, en employant le minerai seul comme agent d'oxydation. C'est en vue de cette opération qu'il avait entrepris les expériences que je vous ai citées tout à l'heure.

Je ne vous raconterai pas ses diverses tentatives, ni les modifications successives qu'il a fait subir à ses appareils. Il cherchait d'abord à réduire préalablement, dans des appareils fixes ou rotatifs, le minerai de fer à l'état d'éponges métalliques, qu'il incorporait ensuite dans un bain de fonte. Je vous ai signalé les difficultés que présente cette opération, et qui consistent principalement dans l'absorption rapide par les éponges qui flottent sur le bain de l'oxygène et du soufre de la flamme. Il reconnut l'impossibilité d'obtenir dans un four fixe, et par les moyens dont il disposait alors, l'acier directement du minerai; et, après de nombreuses modifications et de longs tâtonnements, il arriva à rendre pratique l'affinage de la fonte par le minerai.

L'emploi de ce procédé commence à se répandre dans les grandes aciéries anglaises et allemandes, et, sans vous le décrire dans tous ses détails, je crois intéressant de vous en indiquer la marche générale.

Chaque opération peut produire plus de 5 tonnes d'acier avec 5 tonnes de fonte et 1 tonne à une tonne 1/4 de minerai.

Le four dont on se sert est analogue au four employé pour le procédé Martin-Siemens; mais, comme la température doit y être encore plus élevée à cause de la couche de laitier qui recouvre le bain, il doit être aussi puissant que possible. La sole est un peu différente : à cause de l'action corrosive de la couche de laitier, elle est disposée de façon à ce que les côtés en soient très-minces au niveau de cette couche, et facilement rafraîchis par une circulation d'air.

On commence, le four ayant été porté au blanc, par introduire sur la sole 5 tonnes de fonte, soit en morceaux, soit liquide, et venant directement du haut fourneau. Il n'est pas nécessaire que la fonte soit d'aussi bonne qualité que pour le Bessemer; elle n'a pas besoin non plus d'être aussi grise, attendu que le carbone n'est pas nécessaire comme dans l'opération Bessemer; de plus, une portion du soufre et du phosphore

qu'elle peut contenir est éliminée dans l'opération et disparaît avec le laitier. Cependant elle ne doit pas renfermer plus de 0,1 p. 100 de soufre ou de phosphore; elle ne doit pas non plus contenir plus de 1 p. 100 de manganèse, car ce métal s'oxydant exerce une action destructive sur la sole du four. Comme, d'ailleurs, l'opération ne se fait pas avec la rapidité de l'opération Bessemer, et que l'on peut, à chaque instant, prendre des échantillons et corriger la nature du bain, on n'a pas, en prenant directement la fonte au fourneau, l'incertitude de la qualité par suite d'un dérangement d'allure.

Une fois la fonte bien fondue, si elle a été chargée solide, ou dès qu'elle a acquis la température du four, si on l'a apportée du fourneau, on commence les additions de minerai; on en charge environ 100 kilogrammes à la fois, à des intervalles variant d'un quart d'heure à une demi-heure, suivant les circonstances, jusqu'à ce que l'on ait introduit environ une tonne de minerai. Le minerai employé peut être chargé cru, s'il est sec et riche, tel que le Mokta, le Sommo-rostro, et en général les hématites ou les oxydes magnétiques dont la teneur dépasse 50 p. 100 de fer. Si le minerai est humide, de même que si c'est du fer spathique, ou s'il contient plus de 10 p. 100 de silice, il est préférable de le calciner, et même de le fondre préalablement. Cette fusion se fait facilement et économiquement dans un four Siemens disposé pour cela, et dans lequel on peut fondre 12 tonnes de minerai par 24 heures, c'est-à-dire de quoi suffire à 4 fours à acier, avec une dépense de 5 à 6 francs par tonne. Si le minerai est siliceux, on le fond avec assez de castine ou de chaux pour saturer la silice; et, si c'est un peroxyde de fer, on y ajoute de 5 à 8 p. 100 de coke pulvérisé, afin de le ramener à l'état d'oxyde magnétique fusible. On peut fondre le minerai avec un peu d'oxyde de manganèse, ou employer en mélange du minerai manganésifère, afin d'obtenir un laitier plus fusible, et de diminuer la teneur en soufre du bain. La fusion du minerai est aussi utile au point de vue de la conservation du four lui-même : car le minerai cru, en décrépitant, va souvent fondre la voûte, ou les entrées de gaz et d'air; elle permet, d'ailleurs, d'employer des minerais pulvérulents, et d'utiliser, par exemple, les crasses de marteaux ou de laminoirs. Lorsqu'on a, par additions successives, incorporé dans le bain environ une tonne de minerai, on ne doit plus en ajouter qu'avec précaution, et l'on doit prendre, avant chaque addition, et après avoir remué le bain à l'aide d'un ringard, un échantillon du métal pour se rendre compte de son degré de carburation. On continue ainsi jusqu'à ce que la teneur en carbone soit descendue à 0,001. On ajoute alors de 400 à 500 kilogrammes de spiegel-eisen à 10 p. 100 de manganèse, et, dès qu'il est bien fondu, on râble énergiquement le bain et on procède à la coulée.

Si l'on charge la fonte en morceaux, et froide, l'opération dure de 9 à 10 heures; elle est abrégée de 2 heures si l'on prend la fonte au fourneau.

Si la fonte et le minerai employés sont de bonne qualité et si l'opération est bien conduite, le poids de l'acier coulé doit être d'environ 2 p. 100 plus fort que le poids de la fonte employée. La possibilité de corriger la nature du bain à chaque instant de l'opération permet d'obtenir avec certitude la qualité d'acier que l'on veut; et, comme on peut employer pour obtenir la même qualité d'acier de la fonte valant moins cher que celle nécessaire pour le procédé Bessemer, et que, la main-d'œuvre n'étant que de 5 francs par tonne supérieure, les frais généraux, d'amortissement et d'intérêts du capital sont beaucoup moins élevés, on peut obtenir, et on obtient en effet, en Angleterre et en Allemagne, par ce procédé, de l'acier de meilleure qualité, et à plus bas prix que l'acier Bessemer ou que l'acier obtenu avec les riblons.

Ce résultat peut paraître étrange au premier abord, car on est habitué à dire que l'opération Bessemer n'exige pas de combustible; elle n'en exige pas, en effet, directement dans le convertisseur, mais je tiens d'une des meilleurs fabriques d'acier d'Angleterre que les consommations de coke pour le chauffage des convertisseurs, et des poches de coulée, et de houille pour la fusion du spiegel et les chaudières alimentant la soufflerie, équivalent en moyenne à 700 kilogrammes de houille par tonne de lingots. A la Steel C° of Scotland, à Glasgow, par contre, la consommation de houille par tonne de lingots obtenus par l'affinage de la fonte par le minerai au four Siemens n'est que de 600 kilogrammes. Ajoutez à cela que le prix de la fonte employée dans ce dernier procédé est notablement inférieur à celui de la fonte Bessemer, et que le déchet de l'opération Bessemer est bien supérieur à la dépense de minerai dans le procédé dont il s'agit, et il est facile de se rendre compte de l'économie qu'il présente sur le procédé Bessemer.

La qualité, d'ailleurs, de l'acier obtenu ainsi est supérieure à celle de l'acier Bessemer : de l'acier Siemens renfermant 1/2 p. 100 de carbone est aussi doux, et résiste aussi bien à la traction, que de l'acier Bessemer n'en renfermant que 1/3 p. 100. MM. Vickers, de Sheffield, préfèrent l'acier obtenu par ce procédé à l'acier fabriqué avec les riblons, et même à l'acier fondu en creusets ; et, à la fabrique d'armes d'Enfield, on emploie, pour la fabrication des armes, de préférence à l'acier en creusets, de l'acier Siemens provenant de l'usine de Landore, le même que l'on emploie dans cette usine à la fabrication des rails.

Ce procédé d'affinage de la fonte par le minerai est actuellement employé, pour ne citer que les grandes usines, presque à l'exclusion de tous autres procédés, chez MM. Vickers à Sheffield, à l'usine de Landore près Swansea, à la Steel C° of Scotland à Glasgow, et à l'usine de la Compagnie de l'Union de Dortmund. Ces quatre usines possèdent ensemble plus de 50 fours fabriquant par jour plus de 500 tonnes d'acier par ce procédé. Chaque four peut produire 100 tonnes par semaine anglaise, c'est-à-dire en cinq jours et demi, et certains d'entre eux pro-

duisent jusqu'à 10,000 kilogrammes par opération. A Glasgow, en une semaine, et en 48 opérations, on a chargé 292,480 kilogrammes de fonte et 90,963 kilogrammes de minerai, et on a obtenu 295,136 kilogrammes d'acier, soit un gain de 2,656 kilogrammes sur le poids de la fonte chargée, ou près de 1 p. 100.

L'importance de cette fabrication méritait, je crois, Messieurs, d'attirer votre attention, et vous me pardonnerez de vous en avoir entretenus aussi longuement.

Il est facile d'établir la comparaison entre les prix de revient par les deux procédés.

Les frais de fabrication et les frais généraux, les mêmes dans les deux procédés, sont en moyenne, par tonne, de :

Houille, 700 kil. à 20 francs la tonne.	fr.	14 »
Main-d'œuvre.		9 »
Entretien des fours.		7 50
Frais généraux.		5 50
Intérêts et amortissement.		3 »
Total.	fr.	39 00

Cette dépense fixe de fr. 39 par tonne est à ajouter aux dépenses suivantes de matières premières :

A. — Affinage de la fonte par des riblons de bonne qualité :

Fonte, 1 tonne à 120 fr.	=	120 »
Riblons, 4 tonnes à 120 fr.	=	480 »
Spiegel eisen, 0t.500 à 200 fr..	=	100 »
Total.	fr.	700 »

En comptant 8 pour 100 de déchet, le produit sera de 5,060 kil. d'acier: ce qui remet les matières premières à fr. 138.30 par tonne, ou la tonne de lingots à fr. 177.30.

B. — Affinage de la fonte par de vieux rails phosphoreux et avec emploi de ferro-manganèse :

Fonte, 1 tonne à 120 fr.	=	120 »
Riblons, 4 tonnes à 100 fr.	=	400 »
Ferro-manganèse, 0t.120 à 1f 50 le kil.	=	180 »
Total.	fr.	700 »

Le produit sera de 4,710 kil. d'acier: le prix des matières premières sera donc, par tonne, de fr. 148.60, et la tonne de lingots reviendra à fr. 187.60.

C. — **Affinage par le minerai seul :**

Fonte, 5 tonnes à 120 fr.	=	600	»
Minerai, 1.250 kil. à 40 fr.	=	50	»
Spiegel, 0t.500 à 200 fr.	=	100	»
Total. . . . . fr.		750	»

Le produit sera de 5,555 kilogrammes d'acier : le prix des matières premières sera donc de 135 francs par tonne, et la tonne de lingots reviendra à 174 francs.

On voit donc que l'affinage par le minerai permet de réaliser sur l'affinage par les riblons une économie de plus de 3 francs par tonne de lingots; et, comme il est plus facile de se procurer de la fonte et du minerai de bonne qualité, et de qualité constante, que des riblons, le produit est généralement meilleur et plus homogène, et cela explique la préférence que lui donnent les fabricants qui ont essayé les deux procédés.

Je ne veux point terminer cet exposé des divers modes de fabrication de l'acier fondés sur l'emploi du four Siemens sans vous dire quelques mots du procédé de traitement direct des minerais de fer que M. Siemens travaille depuis plusieurs années déjà, et qui ne tardera pas, j'en ai la conviction, à devenir un procédé tout à fait pratique.

Je ne vous parlerai pas des diverses modifications que M. Siemens a fait subir à son procédé et à ses appareils depuis ses premiers essais en 1866, et je vous indiquerai seulement brièvement les dispositifs qu'il a finalement adoptés et la manière dont il procède. Son appareil, vous le savez, est un four rotatif formé d'un cylindre en forte tôle, terminé par deux troncs de cône en fonte; le tout, reposant sur des galets, tourne autour d'un axe horizontal. Les régénérateurs sont placés derrière le four, et leur disposition, adoptée aussi maintenant dans beaucoup de fours fixes, notamment dans les fours à puddler, est telle, que les orifices d'entrée du gaz et de l'air dans le four, et d'échappement des produits de la combustion, sont juxtaposés à l'une des extrémités de l'axe, de telle sorte que l'autre extrémité de l'appareil reste complétement et constamment libre pour l'introduction des charges ou des réactifs, et l'extraction des loupes obtenues; l'ouverture que présente le tronc de cône antérieur est fermée par une porte glissant entre deux guides verticaux fixes, de telle sorte que la porte ne tourne pas avec l'appareil, et qu'on peut l'ouvrir à chaque instant dans n'importe quelle position du four; il n'y a que lorsqu'on veut écouler le laitier que l'on est obligé d'arrêter le four dans une position donnée, afin que le trou de chio se trouve en bas. Entre les régénérateurs et le four se trouvent des chambres de dépôt, dans lesquelles s'arrêtent les poussières entraînées par le tirage lors des chargements, de façon à éviter l'encombrement des régénérateurs.

Les extrémités coniques sont garnies intérieurement de briques de

Bauxite; quant à la partie cylindrique, après l'avoir recouverte d'une brique réfractaire à plat, on lui fait une garniture en oxyde de fer. On emploie pour cela soit du minerai de Mokta, soit des crasses de laminoirs aussi exemptes que possible de silice, et, par une série d'additions successives, en refroidissant chaque fois, pour la solidifier, la matière fondue, on augmente l'épaisseur de cette garniture jusqu'à 15 centimètres environ.

La question de la garniture a présenté pas mal de difficultés, et, bien que l'oxyde de fer donne des résultats satisfaisants, M. Siemens essaye en ce moment une garniture d'un genre tout nouveau, extrêmement simple, et qui paraît devoir convenir admirablement.

Lorsque le four a été ainsi préparé, et après l'avoir fortement chauffé, on charge le minerai préalablement écrasé, soit seul, s'il est pur ou si sa gangue est fusible par elle-même, soit mélangé avec des fondants de qualité et en quantité convenables pour scorifier la gangue, et on fait tourner le four lentement, pendant une demi-heure environ, afin de porter la masse à une température suffisante pour la réduction. On introduit alors l'agent réducteur, houille, coke ou charbon de bois écrasé, et on augmente la vitesse de rotation. Pendant la période de réduction, il se dégage de la masse de fortes quantités de gaz combustibles, qui suffisent pour entretenir la température du four avec l'air venant des régénérateurs, et l'on peut diminuer considérablement l'admission du gaz. Au bout d'une demi-heure environ, la réduction est complète : on rend le gaz, et la température du four s'élève rapidement, de telle sorte que le laitier se forme, par la combinaison de la gangue avec le fondant, et le fer émerge du laitier, et se réunit, par la rotation, en une ou plusieurs loupes; on arrête le mouvement pendant quelques minutes pour faire écouler le laitier, puis on fait faire quelques tours à l'appareil afin de porter les loupes au blanc soudant, et on les extrait du four et les porte au pilon afin d'en expulser le laitier et d'obtenir des blooms.

Dans l'état actuel du procédé, ces blooms ne peuvent guère être étirés directement en barres, parce qu'ils contiennent souvent des particules de minerai ou de charbon qui empêchent la soudure; mais ils sont très-convenables pour être dissous dans le bain de fonte initial du procédé Martin-Siemens; et, comme la pratique a démontré que ce procédé direct élimine la presque totalité du soufre ou du phosphore renfermés dans le minerai, le produit est généralement de qualité supérieure.

Ce procédé commence à se répandre en Angleterre, où il y a déjà 6 ou 7 fours installés; et, bien que les résultats ne soient pas encore parfaitement commerciaux, je puis vous donner un aperçu du prix de revient.

Dans un des fours de la Steel C° of Scotland, à Glasgow, on fait 8 charges par 24 heures, et chaque charge donne une tonne de balles puddlées.

Le prix des matières premières employées se décompose ainsi :

1 tonne de *Blue billy*, résidu du grillage des pyrites. . .	fr.	28 10
½ tonne, minerai de Camerata.		18 80
Écrasage du minerai..		3 10
½ tonne de coke fin pour la réduction.		7 50
Écrasage du coke.		2 50
Total.	fr.	60 00

La quantité de houille consommée par tonne de fer dans les gazogènes et pour la machine n'est que de 1 tonne à fr. 11.25.

La main-d'œuvre s'élève, par 24 heures, à fr. 64.10 : soit, pour 1 tonne, 8 fr. de main-d'œuvre.

Le prix de la tonne de fer en loupes est donc de :

Matières premières.	fr.	60 00
Houille.		11 25
Main-d'œuvre..		8 00
Entretien et réparations.		3 75
Total.	fr.	83 00

En augmentant ce prix de 25 pour 100 pour tenir compte du laitier qui reste interposé dans les loupes, on arrive au chiffre de 103f,75, et en ajoutant 6f,25 pour intérêt et amortissement, on a un total de 110 francs pour la tonne de balles puddlées.

Remarquez que les pyrites grillées se payent très-cher à Glasgow : le mélange de minerai ressort à 31f,25 la tonne, et, dans beaucoup de localités en France, on aurait du minerai à meilleur marché. Si on voulait utiliser les résidus de pyrites, on les aurait en moyenne à 10 francs la tonne dans beaucoup d'usines. En tenant compte de cela, et, d'autre part, de la plus-value de la houille, je crois pouvoir affirmer que, dans la plupart des cas, en France, on pourrait obtenir la tonne de loupes au prix de 110 francs. Ce procédé, d'ailleurs, n'a pas dit son dernier mot : on arrivera certainement à obtenir du minerai un rendement plus considérable, et je ne désespère pas de voir le prix de revient tomber à 100 francs la tonne.

Il me resterait, Messieurs, pour avoir passé en revue les différentes applications du four Siemens à la métallurgie du fer et de l'acier, à vous entretenir des fours à fondre l'acier en creusets, et des appareils Siemens-Cowper pour le chauffage du vent pour les hauts-fourneaux.

Mais je ne veux pas prolonger davantage cette communication.

Il me suffira de vous dire que l'application du système Siemens à la

fusion de l'acier en creusets a permis à presque toutes nos fonderies d'acier de remplacer, pour la fusion d'une tonne d'acier, 2 tonnes 1/2 de coke, équivalant à près de 4 tonnes de houille par une tonne et quart de houille, réalisant ainsi une économie de près de 70 pour 100; mais, en présence des résultats que donne maintenant la fabrication sur sole, cette application perd beaucoup de son intérêt.

Quant aux appareils céramiques à chauffer le vent, leur application permet de réaliser des économies de coke qui s'élèvent juqu'à 500 kilogrammes par tonne de fonte Bessemer, comme à l'usine de Terrenoire, et d'augmenter la production des fourneaux de 50 à 65 pour 100.

Cette application est, vous le voyez, d'une importance considérable pour la métallurgie française, et j'espère que vous voudrez bien me permettre de vous en entretenir plus longuement dans une prochaine séance.

NOTE

SUR LES

CONSTRUCTIONS EN ACIER

PAR M. FERDINAND GAUTIER.

Grâce à des progrès importants dans la fabrication et à une meilleure appréciation des qualités de la matière chez les consommateurs, l'emploi de l'acier dans les constructions est dans un état de développement dont j'ai cru intéressant de vous entretenir.

Classification des Aciers.

Que doit-on comprendre quand on parle d'*acier pour les constructions?* quelles sont les propriétés que l'on doit demander à ce métal et quelles sont celles que l'on rencontre dans le commerce des fers? Ces diverses questions nous amènent à parler de la classification des aciers.

On donne, à tort ou à raison, le nom d'*aciers* à toutes les nuances de métal fondu et homogène, depuis la qualité la plus dure jusqu'à celle qui possède une malléabilité à froid inconnue avant les méthodes de fabrications nouvelles.

Déjà, en septembre et octobre 1874, M. Marché a étudié ici la classification des aciers présentés par le Creuzot à l'occasion de l'Exposition universelle de Vienne. Tout en reconnaissant avec lui l'ordre et la méthode qui ont servi de base à ce travail, je demanderai à faire ici quelques observations à ce sujet.

Je serais très-disposé, pour ma part, à voir restreindre le nombre des catégories. Étant admis qu'avec les méthodes nouvelles on peut produire toutes les nuances, du plus dur au plus doux, c'est l'expérience qui déterminera les qualités qui répondent à tel ou tel emploi, et il se formera ainsi dans les idées un classement naturel des aciers sans que le trouble naisse dans l'esprit du consommateur. Le fabricant, avec sa connaissance parfaite de la matière, sera un guide précieux, et les caté-

gories se formeront à mesure que les débouchés se créeront d'une manière certaine et durable.

La considération de la trempe me semblerait devoir être écartée, d'autant plus que dans la classification du Creuzot il s'agit de la trempe à l'huile, connue seulement des artilleurs et de quelques métallurgistes, et que les consommateurs sont portés à tort à confondre avec la trempe à l'eau. Il est réservé un grand avenir à la trempe à l'huile : elle a pour effet d'augmenter la charge de rupture en diminuant de moitié seulement l'allongement final ; mais il y a là toute une éducation à faire de la part du consommateur. On pourrait stipuler cependant, pour les aciers extra-doux, l'absence de trempe à l'eau, car c'est un excellent caractère auquel se reconnaît la véritable douceur du métal.

D'autre part, une classification sérieuse doit tenir compte du présent tout en travaillant pour l'avenir. Or il est impossible de faire entrer dans une des catégories de la classification dont nous nous occupons les conditions de la marine et des compagnies de chemins de fer pour les essais de traction. Les essais du Creuzot sont supposés faits sur une partie ajustée de 10 centimètres de longueur, tandis que ces administrations opèrent depuis plus de dix ans sur 20 centimètres de longueur. Il est connu de presque tout le monde que les allongements à la rupture ne sont pas les mêmes dans les deux cas. Il se produit à l'endroit de la rupture un étranglement, une *striction*, accompagnée d'un allongement considérable et qui est *une quantité constante* ou à peu près, pour un acier de dureté donnée. Cet allongement local joue dans l'allongement pour 100 ou allongement par unité de longueur un rôle d'autant plus important que l'essai est plus court. Pour en donner une idée, j'extrais des nombreux essais d'aciers pour canons faits en 1870 par la commission régionale d'artillerie des nombres comparatifs pour des nuances d'acier variant de 10 à 25 pour 100 d'allongement mesuré sur 0 centimètres.

ALLONGEMENTS POUR 100 MESURÉS SUR

20 CENT.	15 CENT.	10 CENT.	5 CENT.	NOMBRE D'ESSAIS.
25	27	30.5	40.3	9
24	26.7	30	40	10
23	25.7	29.2	38	10
22	24.1	28.1	38	10
21	24.0	28.0	35.6	10
20	22.9	26.6	35.2	10
19	21.4	25	32.1	10
18	20.2	24.4	29.9	10
17	19.3	22.6	28.5	10
16	17.9	20.7	25.4	10
15	17.2	20.6	25	10
14	16.0	18.5	24.5	10
13	14.8	17.6	22.2	10
12	13.6	15.2	19	10
11	12.7	14.7	18.6	10
10	11.3	12.7	15.7	6

Il est difficile de représenter par une fonction de la longueur de l'essai l l'allongement pour 100 à la rupture Δ. Cependant la formule

$$\Delta = a + \frac{b}{l} \qquad (1)$$

serait assez d'accord avec les faits; mais il faut assigner aux constantes a et b des valeurs différentes pour chaque nuance d'acier.

ALLONGEMENTS Δ Mesurés sur 20 centimètres.	VALEURS DE	
	a	b
20 à 25	14 à 17 %	130 à 140
15 à 20	10 à 13	100 à 130
10 à 15	7 à 9	50 à 100

Il n'y a pas lieu d'approfondir cette étude autrement que par l'expérience. Il résulte de la formule et il est conforme aux faits que, lorsque la longueur est un peu grande, l'influence locale de l'allongement au point de rupture perd de son importance, et on arrive à une certaine limite a pour l'allongement à la rupture rapporté à l'unité de longueur.

M. Marché a déduit du tableau des essais du Creuzot, qualité ordinaire A, une formule empirique qui s'accorde assez avec les nombres trouvés :

$$F + 2\Delta_{10} = 102, \qquad (2)$$

F étant la charge de rupture en kilogrammes par millimètre carré et Δ_{10}

l'allongement pour 100 à la rupture mesuré sur une barre ajustée de 10 centimètres de longueur. Voyons ce que va devenir cette formule quand on mesurera les allongements sur 20 centimètres.

En m'appuyant sur la source de renseignements dont j'ai déjà parlé et en prenant en considération plusieurs centaines d'expériences, je trouve, pour des barreaux de 2 centimètres de diamètre, tournés avec soin et dont l'allongement était mesuré sur 20 centimètres :

$$F + \frac{3}{2}\Delta_{20} = 77{,}5, \qquad (3)$$

c'est-à-dire qu'un métal à 22 pour 100 d'allongement compté sur 20 centimètres aura une charge de rupture de $44^{k},500$, qu'un acier à 12 pour 100 rompra à 60 kilogrammes par millimètre carré, etc.

Si nous comparons entre elles ces deux formules empiriques, et que nous égalions les deux valeurs de F, nous aurons une relation générale entre les deux valeurs d'allongement à la rupture :

$$102 - 2\Delta_{10} = 77{,}5 - \frac{3}{2}\Delta_{20},$$

$$\Delta_{10} = \frac{3}{4}\Delta_{20} + 12{,}25. \qquad (4)$$

Pour $\Delta_{20} = 23\ {}^{0}/_{0}$, nous trouvons $\Delta_{10} = 29{,}50$, et le tableau comparatif, que j'ai donné plus haut, indique 29,20.

Pour $\Delta_{20} = 20\ {}^{0}/_{0}$, nous trouvons $\Delta_{10} = 27{,}50$, tandis que le tableau indique 26,60.

Quant aux nuances dures, la concordance ne serait plus aussi bonne; mais nous nous occuperons ici principalement des aciers doux et nous n'insisterons pas sur cette question.

Il ne faudrait appliquer la formule empirique (3) qu'à la qualité courante d'acier : car pour le métal phosphoreux à 3 millièmes de phosphore, par exemple, l'expérience indique qu'avec 22 pour 100 d'allongement sa charge de rupture est de 55 kilogrammes, tandis que l'acier doux ordinaire ayant cet allongement romprait au-dessous de 45 kilogr.

INFLUENCE DE LA DOUCEUR DU MÉTAL POUR LA MISE EN CHARGE DES CONSTRUCTIONS ET LEUR CONSERVATION.

Il est certain que l'on construit pour que la *limite d'élasticité* des divers éléments de la construction ne soit ni atteinte ni dépassée. Il y a même des cas où la déformation est presque aussi grave que la rupture, comme dans les pièces de machines.

De plus, comme les mises en charge dans la réalité se font toujours avec une vitesse plus ou moins grande, il y a lieu de tenir compte de la

résistance au choc que possède la matière et on doit se garantir autant que possible de la rupture qui pourrait avoir lieu de ce côté.

On est conduit alors à l'emploi de matières *douces*, c'est-à-dire ne se rompant qu'après une déformation très-grande, après un *travail moléculaire* considérable et qui avertisse par sa présence de l'approche plus ou moins grande du danger.

L'effet du choc est généralement considéré comme *proportionnel à la force vive du corps choquant*. Je l'ai vérifié pour ma part assez exactement dans de nombreux essais de rails d'acier avec des moutons de poids différents et tombant de hauteurs variables. On en a également une vérification très-sérieuse dans les essais du capitaine Noble sur la résistance des blindages [1].

ÉTUDE DE L'ALLONGEMENT D'UNE BARRE D'ACIER SOUS UN EFFORT DE TRACTION.

Construisons une courbe dont les abscisses seraient les allongements pour 100 sous charge d'une barre d'acier, et les ordonnées, les charges correspondantes en kilogrammes par millimètre carré. Cette courbe ne différera tout d'abord pas beaucoup d'une droite partant de l'origine ou d'un point de l'axe des y, et se confondant presque avec cet axe jusqu'à ce que la déformation devienne permanente, c'est-à-dire jusqu'à la limite d'élasticité L. Si f est la force évaluée en kilogrammes par millimètre carré et appliquée à la pièce, ds l'allongement élémentaire sous charge, le travail moléculaire sera :

$$fds,$$

et le *travail moléculaire* total jusqu'à la limite d'élasticité sera représenté par l'intégrale définie :

$$\int_0^L fds$$

ou par l'aire comprise entre l'axe des y, celui des x, l'ordonnée de la limite d'élasticité et la courbe considérée. C'est la *résistance vive d'élasticité* de Poncelet. Pour que le corps soumis à un choc produisant une certaine quantité de force vive ne se déforme pas, il faut, d'après l'équation générale entre les forces vives et les travaux des forces, que la résistance vive d'élasticité soit supérieure à cette force vive rapportée à l'unité de section. D'après la définition de la limite d'élasticité, les

1. $\frac{PV^2}{2g} = 2\pi RK\delta^2$. P V R sont le poids, la vitesse et le rayon du boulet; g, l'intensité de la pesanteur; δ, l'épaisseur du blindage, et K, une constante déterminée par l'expérience.



allongements sont proportionnels aux charges jusqu'à la limite d'élasticité, par conséquent on a d'une manière générale, pour l'unité de section :

$$f = \mathrm{E}\, ds,$$

E étant le coefficient d'élasticité, et à la limite d'élasticité :

$$\mathrm{L} = \mathrm{E}\, ds.$$

Or

$$\int_0^{\mathrm{L}} f\, ds = \frac{1}{2}\mathrm{L}\, ds = \frac{\mathrm{L}^2}{2\mathrm{E}},$$

puisque la surface cherchée est un triangle. On devra donc avoir pour absorber la force vive U sans déformation permanente :

$$\mathrm{U} \leq \frac{\mathrm{L}^2}{2\mathrm{E}},$$

relation importante qui relie le coefficient d'élasticité à la limite d'élasticité par l'intermédiaire des nombres arbitraires U, que l'on peut considérer comme des *coefficients de sécurité de mise en charge*. Nous n'insisterons pas sur les conséquences à tirer de cette formule, les coefficients d'élasticité des différentes nuances d'acier n'étant pas encore déterminés d'une manière certaine.

Si nous continuons de construire la courbe qui relie les charges aux allongements, nous voyons que celle-ci s'infléchit rapidement vers l'horizontale, surtout dans les aciers doux, les allongements croissant beaucoup plus vite que les charges. Enfin, nous arrivons à la charge de rupture F avec l'allongement pour 100 final, que nous avons appelé A.

L'intégrale $\int_0^{\mathrm{A}} f\, ds$, c'est-à-dire l'aire de la courbe étendue jusqu'au point de rupture, donnera de la même manière le *travail moléculaire total jusqu'à la rupture ;* et, pour qu'un choc ou une force vive R, rapportée à l'unité de section, n'amène pas la rupture, nous devons avoir :

$$\mathrm{R} \leq \int_0^{\mathrm{A}} f\, ds.$$

Détermination approchée des coefficients de résistance vive à la rupture R. — Nous allons chercher à calculer approximativement la valeur de cette nouvelle intégrale définie R.

Menons une droite allant du point de rupture au point qui, sur l'axe des *y*, correspond à la limite d'élasticité. J'aurai déterminé ainsi un trapèze, dont je prendrai la surface comme équivalent à l'aire cherchée; c'est une approximation que l'on peut se permettre, et que l'inspection des diagrammes de résistance à la traction autorise parfaitement à faire :

il y a une sorte de compensation entre la surface laissée au-dessus de la corde et celle du triangle ajouté contre l'axe des *y*.

L'aire cherchée devient alors

$$\frac{1}{2}\left\{ L + F \right\} \Delta.$$

Nous avons alors très-sensiblement la relation

$$R \leq \Delta \frac{(L + F)}{2}.$$

On peut encore simplifier cette expression en admettant (ce qui est très-près de la vérité pour les aciers doux principalement) que *la limite d'élasticité est la moitié de la charge de rupture*. Cela revient à dire qu'un acier qui rompt à 45 kilogrammes commence à se déformer d'une manière permanente vers $22^k,5$, ou qu'un acier à 60 kilogrammes se déforme vers 30 kilogrammes. Cela sera d'autant plus exact que le métal aura subi moins de travail mécanique, tel que forgeage, corroyage, etc. Du reste, l'incertitude qui règne parmi les physiciens et les métallurgistes sur la définition pratique et le mode de mesure de la limite d'élasticité permet parfaitement d'opérer ainsi.

Nous aurons donc

$$R \leq \frac{3}{4} F \Delta,$$

et en introduisant la relation empirique qui relie F et Δ pour les aciers

$$R = \frac{3}{4} \Delta_{20} \left\{ 77,5 - \frac{3}{2} \Delta_{20} \right\}.$$

En appliquant à Δ_{20} un certain nombre de valeurs, nous aurons pour ce coefficient les chiffres qui se trouvent dans le tableau suivant :

Δ_{20}.	F	R
5 %	70 kil.	312
10	62.25	467
15	55	618
20	47.5	712
25	40	750[1]

1. Le fer doux à $L = 12$, $\Delta = 15$, $F = 30$ donnerait $R = 315$, et le fer pour ponts à $L = 15$, $\Delta = 9$, $F = 34$ donnerait $R = 220$ seulement.

On voit comment les *coefficients de résistance à la rupture*, et que nous avons désignés par R, croissent rapidement avec Δ.

Il est intéressant de savoir quel est le maximum de R; pour cela nous égalerons à o la dérivée de R et nous trouvons :

$$o = \frac{6}{8} 77,5 - \frac{18}{8} A = o,$$

d'où

$$A = 25,80,$$

et par suite F = 39,7.

C'est-à-dire que *les aciers qui semblent le plus aptes à résister au choc sont ceux qui correspondent à la plus grande douceur pratique et qui par conséquent ont la charge de rupture la moins élevée.* Pour avoir des aciers doux d'un allongement supérieur à 25 pour 100 mesuré sur 20 centimètres de longueur, il faudrait sortir de la qualité courante A, et nous ne nous en occuperons pas.

On voit par cette analyse succincte, et autant qu'il est permis d'appliquer le calcul à des questions aussi délicates que celles qui touchent aux efforts moléculaires, comment la prédominance de l'allongement s'impose naturellement à l'esprit.

La pratique vérifie sensiblement ces déductions théoriques. Tant que les progrès de la fabrication n'ont pas permis de produire à volonté et avec sécurité les aciers extra-doux, tous les essais d'application ont été accompagnés de mécomptes plus ou moins complets. Malheureusement pour l'emploi de l'acier dans les constructions, les industriels qui, par leur haute position et leurs relations commerciales bien établies, étaient le mieux placés pour développer cette consommation, étaient loin d'être les producteurs les plus sérieux des qualités extra-douces, et il en est résulté un certain trouble dans les esprits.

En présence de matières inégales et d'une douceur insuffisante, on était arrivé, en France comme ailleurs, à élever des doutes sérieux sur l'emploi des aciers doux dans les constructions. Cette incertitude peut être considérée comme levée depuis le fait important dont je vais vous entretenir.

Développement de l'Acier dans les constructions navales en France.

Les ingénieurs des constructions navales en France, qui sont des fonctionnaires aussi près de la pratique que possible, après une étude longue et approfondie des aciers, sont arrivés à cette conviction que les navires cuirassés devaient désormais être construits d'une manière complète, tôles et cornières, en métal extra-doux, dit *métal fondu*. La seule restriction porte sur le bordé extérieur, c'est-à-dire les tôles en contact avec l'eau de mer. Cette exception est destinée à disparaître : car il résulte

d'expériences faites aux aciéries de Terrenoire que, sous l'action de l'eau de mer, la corrosion, qui est très-importante pour les tôles dures et carburées, est pour les tôles extra-douces inférieure de 20 pour 100 à ce qu'elle serait pour les tôles en fer de la qualité qu'on applique à cette partie du bâtiment, c'est-à-dire la tôle dite *ordinaire*, à 34 kilogrammes et 7 pour 100 d'allongement mesuré sur 200 millimètres de longueur, la résistance devant être la même en travers comme dans le sens du laminage.

Il y a là un fait important quand on connaît la prudence avec laquelle se font les innovations dans les corps de l'État. Actuellement, il y a *huit navires cuirassés* achevés ou en construction, dont toute la structure intérieure, sauf l'exception que nous venons de citer et les blindages, est entièrement en tôles et cornières d'acier.

On peut se demander pourquoi il n'en est pas de même des blindages. Il y a là une question toute spéciale : c'est, pour ainsi dire, une question d'épaisseur. Il est actuellement, et il sera peut-être longtemps, impossible de fabriquer des blindages en acier, quelque doux qu'il soit, sans laisser subsister dans la matière, à cause de l'épaisseur, un certain état cristallin, qu'un laminage à outrance pourrait détruire, mais qui se maintient dans des pièces d'un aussi gros calibre, et qui détruit toute résistance au choc.

M. Barba, ingénieur des constructions navales à Lorient, a résumé dans une petite brochure[1] les expériences qui ont été faites sur les aciers extra-doux pour navires, et je vais en extraire, aussi succinctement que possible, les résultats pratiques.

Les matières en question ont été fournies par les usines de Terrenoire et du Creuzot. L'initiative dans cette fabrication avait été prise, dès 1867, par Terrenoire; mais le Creuzot n'a pas tardé à adopter les mêmes procédés de fabrication, grâce à l'emploi du ferromanganèse qu'on lui céda, et qui est indispensable pour arriver aux qualités réellement douces et applicables aux constructions. La compagnie des Aciéries de la marine et des chemins de fer suit actuellement la même voie.

Le cahier des charges de la marine exigeait 45 kilogr. et 20 pour 100 d'allongement pour les tôles et cornières, et seulement 18 pour 100 pour les fers en double T, à cause de l'écrouissage inévitable dans ce genre de produits.

Les matières obtenues par le procédé Bessemer ou par le procédé Martin-Siemens donnèrent en moyenne, pour un nombre considérable d'essais :

Tôles et cornières.	46k,9	et	23 %
Fers à double T.	51 ,7	et	19,5

1. *Étude sur l'emploi de l'acier dans les constructions*, par F. Barba. — Paris, Baudry.

les allongements étant mesurés sur 200. Les charges sont sensiblement supérieures aux nombres que l'on obtiendrait par notre formule empirique; mais, pour les fers à T, cette discordance tient à ce que les barres sont essayées telles qu'elles sortent du cylindre et sans aucun recuit. L'aigreur amenée par le laminage se fait alors sentir.

POINÇONNAGE, CISAILLAGE, FORAGE ET MARTELAGE DES TÔLES ET FERS PROFILÉS.

Le poinçonnage passe pour altérer notablement la ténacité. On a même été tout dernièrement, en Angleterre, jusqu'à recommander pour les rails d'acier le perçage au poinçon des trous d'éclissage, sous la raison, qui me semble spécieuse, que, lorsque le métal ne supporte pas le poinçonnage, c'est qu'il doit être rejeté. Le poinçonnage peut altérer le métal sans cependant amener la rupture, et c'est pour cette raison qu'il est dangereux.

L'inconvénient de la substitution du forage au poinçonnage, c'est de modifier un outillage existant, et par suite d'avoir à lutter contre la routine des consommateurs.

Un premier moyen d'atténuer le mauvais effet du poinçonnage, c'est de percer avec des matrices d'un diamètre sensiblement supérieur à celui du poinçon. Il en résulte une débouchure en tronc de cône qui donne ensuite un fraisage au rivet quand on le force dans ce trou conique.

M. Barba, par de nombreux essais de traction sur des bandes de tôles poinçonnées à l'intérieur, constata que la rupture commençait par le centre, que les fibres centrales s'allongeaient moins que celles des bords de la bande d'essai; il en conclut qu'il y avait une certaine altération autour de la partie poinçonnée et étudia de plus près cette altération. Cette zone altérée ne s'étend pas à plus de $1^{mm},5$ des bords. On chercha par un forage à agrandir le trou jusqu'à ce qu'on eût fait disparaître cette partie détériorée : les essais de traction donnèrent alors les résultats normaux comme charge et comme allongement.

Pour examiner spécialement cette zone, on perça des trous au poinçon dans des tôles de 8 et 12 millimètres, d'autres au foret, d'autres au poinçon et terminés au foret; on enleva ensuite sur les tôles toute la partie extérieure à la zone en question, et, en opérant avec précaution à l'aide d'un tour, on put obtenir des bagues de 1/2 millimètre d'épaisseur de matière.

En cherchant à aplatir ces bagues, on constata que :

1° Celles qui provenaient du perçage au foret s'aplatissaient complétement sans crique;

2° Celles percées au poinçon et agrandies au foret subirent la même

épreuve avec un succès analogue; il n'y eut de nuance que quand on voulut les redresser : il se manifesta alors quelques criques;

3° Enfin, celles percées au poinçon se brisèrent sous le marteau. En les faisant recuire, on arrivait à une douceur analogue à celle des trous au foret, avec une nuance de crique au redressement.

Le poinçonnage *ne produit donc pas de fente*, mais il altère l'élasticité du métal dans une zone de 1 millimètre environ autour du trou.

Il y a donc trois manières de procéder :

1° *Poinçonner et recuire;*
2° *Poinçonner et aléser au foret;*
3° *Percer au foret.*

Le perçage au foret sera toujours préférable : il est plus précis, ne déforme pas les tôles, mais il est plus cher.

M. Barba nous donne quelques détails économiques sur la comparaison entre le perçage au foret et le perçage au poinçon avec trous agrandis au foret.

Le perçage au foret de 915 trous a demandé 65 *heures* 30 de la machine à percer, et le même nombre d'heures d'un ouvrier. Le même travail a demandé 8 heures 15 de machine à poinçonner et 29 heures 15 de machine à percer; comme heures de travail d'ouvrier, 33 heures pour poinçonnage et 29 heures 15 d'alésage : ce qui fait 62 *heures* 15 en somme comme main-d'œuvre. Il y a donc une certaine économie argent avec la solution intermédiaire du poinçonnage suivi d'alésage, et, en outre, il y a économie de temps de 40 pour 100, sans modifier radicalement son outillage. C'est la solution qui a été appliquée à Lorient et à Brest.

Le *cisaillage* produit également sur le bord des feuilles une aigreur spéciale qui amène souvent des fentes quand les lames sont en mauvais état. *Il doit toujours être suivi d'un recuit.*

Le *martelage à froid* et toutes déformations à froid doivent être évités; ou, si on ne le peut absolument, il faut le faire accompagner d'un recuit.

Je ne suivrai pas l'auteur dans les explications qu'il donne sur les altérations moléculaires que produisent toutes ces déformations à froid. Pour lui, c'est une sorte de trempe, c'est-à-dire une dissolution du carbone dans la masse et qui a pour effet de produire un corps à propriétés toutes différentes. N'ayant aucune idée personnelle à introduire dans ces questions moléculaires si complexes et si peu connues, je n'insisterai pas.

Je préfère attirer votre attention sur l'effet bienfaisant du recuit, que vous trouverez d'ailleurs cité plus loin. J'ajouterai que, pour que ce recuit soit efficace, *il doit avoir lieu jusqu'au rouge cerise*, et le refroidissement doit être aussi lent que possible.

Travaux spéciaux aux tôles. — Ces travaux sont de deux sortes, à froid et à chaud.

Le cintrage doit être fait à la machine et jamais au marteau. Si le martelage à froid est nécessaire dans certaines parties, on devra le faire suivre d'un recuit.

Le chauffage des tôles en métal fondu demande plus de précautions que celui des tôles en fer. On doit éviter les chaudes locales qui amènent des tensions moléculaires inégales, que l'homogénéité de la matière et son état d'agrégation spécial rendent dangereuses. On doit même éviter tout refroidissement partiel.

Le façonnage à chaud peut être poussé jusqu'à des limites incroyables, que le cuivre rouge seul avait permis jusqu'ici; mais, quand la forme est compliquée ou dissymétrique, on doit terminer par un recuit avec refroidissement lent. Le chauffage au gaz est préférable, mais il n'est pas indispensable.

Travaux spéciaux aux cornières. — Ces travaux sont le cintrage et l'équerrage ou ouverture et fermeture de l'angle. Ces opérations ont toujours été faites à froid au port de Lorient. Cependant, quoique plusieurs milliers de mètres de cornières aient été travaillées ainsi avec succès et sans nombreuses ruptures, je crois que pour les dimensions un peu fortes et dans l'intérêt de l'avenir de la construction il est préférable d'employer le cintrage à chaud avec chauffage au four. C'est très-rapide, en somme, et c'est le travail rationnel. Il faut employer, comme à Lorient, des plaques à cintrer avec des broches qui règlent le profil. Le recuit est inutile s'il n'y a pas eu de travail à froid.

Pour former des épaulements et des coudes, il faut pouvoir souder les cornières. Or ici se présente la question grave de la soudure. Le métal fondu, tel qu'il est produit au Creuzot et à Terrenoire, se soude; mais il est certain que cette soudure est plus délicate que celle du fer. Lorient a résolu très-bien le problème en interposant entre les deux mises d'acier un petit morceau de fer. La soudure est parfaite et très-facile. On peut éviter cette légère mise de fer quand on soude par superposition et en employant une pression énergique, telle qu'un coup de pilon; mais, dans la soudure par amorces, elle est indispensable.

Sans vouloir faire ici une théorie de la soudure de l'acier et du fer, je dirai que ce qui, dans le métal fondu, empêche ou au moins gêne la soudure, c'est la pureté même du métal. Quand on chauffe les deux morceaux d'acier, ils s'oxydent à la surface; et comme, d'après la nature du produit fondu, cet oxyde, qui est infusible (oxyde magnétique), ne trouve pas autour de lui la moindre parcelle de scorie ou de silice, il est très-difficile à expulser. Il n'en est pas de même avec les produits non fondus, tels que fer, acier puddlé, etc. : la scorie mêlée au fer sert d'exutoire à l'oxyde infusible formé, et le décapage parfait des parties

métalliques et leur adhérence complète ont lieu sans qu'il soit nécessaire de recourir à une pression ou un choc excessifs. L'effet de la présence de la mise de fer entre les deux mises d'acier s'explique de la même manière.

Travail des doubles T.— Ces travaux sont : le cintrage, la formation des talons par ouverture de l'âme et cintrage, enfin l'équerrage des deux flasques du double T et le gauchissage de l'âme.

Il faut avoir sous les yeux les formes compliquées que doivent présenter ces pièces pour épouser les surfaces gauches rencontrées dans les navires, autrement on ne peut se rendre compte de la difficulté du travail. On a pu faire la plupart de ces déformations à froid; mais, comme pour les cornières et encore moins que pour elles, cette méthode n'est pas à conseiller. Il n'existe pas de fer qui puisse supporter de semblables efforts : pourquoi s'exposer, pour un produit nouveau, à quelque mécompte que l'on reprocherait ensuite à la matière? Ce que je veux surtout faire remarquer ici, ce sont les résultats de l'essai au choc de semblables fers T.

Avec un mouton de 1,350 kilogrammes, tombant de 10 mètres de hauteur, on a produit sur des barres à double T de 300 de hauteur des flexions sans rupture.

« Le tir du canon sur des murailles cuirassées, où les tôles, cornières « et doubles T habituellement en fer, nous dit M. Barba, avaient été « remplacés par du métal fondu, a pleinement justifié les conclusions « tirées des expériences précédentes. Le métal s'est le plus souvent « ployé et tordu sans se rompre autrement que pour livrer passage au « projectile qui devait le traverser. Les éclats n'ont guère été que le « tiers de ceux que donnait le fer dans les mêmes conditions, etc. »

Rivetage des tôles et fers profilés en acier. — En estimant que des tôles d'acier atteignent leur limite d'élasticité à 22 kilogrammes, et que des tôles en fer arrivent à cette limite sous une charge de $16^{k},500$, ce qui est plutôt exagéré dans la plupart des cas, on trouve que dans une construction une tôle de fer d'épaisseur e pourra être remplacée par une tôle en métal fondu d'épaisseur e' déterminée par la relation

$$22\,e' = 16{,}5\,e,$$

d'où

$$e' = \frac{3}{4}\,e.$$

Une tôle de fer de 12 millimètres peut donc être remplacée par une tôle en métal fondu de 9 millimètres.

On peut donc appliquer aux tôles d'acier de 9 millimètres les règles de rivetage des tôles de fer de 12 millimètres, et de même par comparaison pour les autres épaisseurs.

Il n'y a pas lieu jusqu'à présent d'employer les rivets en acier ; mais à Lorient, où on a travaillé cette question, on s'est fixé sur l'emploi des rivets en fer d'un système mixte analogue à celui qui a été appliqué par M. Scott Russell dans l'assemblage des tôles de bordé du *Great-Eastern*. C'est un rivet dont une partie en tronc de cône a été interposée entre la tige et la tête, et qui remplit une fraisure pratiquée à cet effet dans les tôles. Si une cause quelconque produit ultérieurement la rupture de la tête, les tôles ne seront pas abandonnées à elles-mêmes, mais seront encore maintenues par les fraises. On peut ainsi réduire la hauteur, et par suite le poids des têtes des rivets, tout en conservant hors des tôles une portion de métal assez considérable pour fournir à l'oxydation et à l'usure dans les régions qui y sont exposées.

La fraisure s'obtient dans les tôles d'acier en agrandissant au foret un trou poinçonné cylindrique. L'adoption de cette forme de rivets n'entraîne donc pas un surcroît de travail.

M. Barba termine son ouvrage en disant que la vulgarisation d'un métal qui jouit d'une grande résistance, tout en présentant à la rupture des allongements énormes, offre le plus grand intérêt.

De l'emploi de l'Acier pour les constructions dans les autres pays.

Nous voyons qu'en France l'initiative de l'emploi sur une large échelle de l'acier dans les constructions est donnée par les ingénieurs des constructions navales. Il y a donc là un fait dont l'industrie privée doit s'émouvoir, si elle ne veut pas, contre son habitude, se laisser devancer dans cette lutte vers le progrès, où elle a généralement tenu la tête.

Dans la séance du 25 mars 1875 de l'*Institution of naval architects*, M. Barnaby, ingénieur en chef des constructions navales de la marine britannique, s'est occupé de cette question.

« En octobre dernier, dit-il, j'ai eu l'occasion de voir en France « l'emploi de l'acier dans la marine de l'État. Non-seulement la matière « m'a semblé d'une excellente qualité, mais encore le développement de « l'emploi de l'acier m'a montré qu'on y attachait une grande confiance.

« Dans le grand navire en fer *le Redoutable*, construit à Lorient, on « emploie l'acier pour la coque, les bancs, les ponts, les cloisons, le « revêtement derrière les blindages et tout l'intérieur. Il n'y a que pour « le bordé extérieur et les rivets qu'on se sert du fer. Deux autres grands « navires, *la Tempête* et *le Tonnerre*, dont les plans sont du même ingé- « nieur que *le Redoutable*, M. de Bussy, sont en chantier à Brest et à « Lorient avec le même emploi de matières, etc. »

M. Barnaby entre ensuite dans quelques détails tirés de l'ouvrage de M. Barba, qui est avec M. Godron un des collaborateurs de M. de Bussy.

Il s'étonne qu'en Angleterre les fabricants ne fournissent pas des matières analogues comme qualité. Il demande donc des produits sur lesquels il puisse compter, comme ceux fournis aux arsenaux français, et il se déclare prêt à suivre cet exemple.

Dans une discussion qui suivit, Bessemer, Siemens, Scott Russell, prirent la parole, et je vais résumer leurs discours.

Bessemer prétend qu'en Angleterre on commence déjà à se lancer dans les constructions en acier, que plus de 300 locomotives ont leurs chaudières en acier sur la ligne du North-Western railway, et cet acier a été percé au poinçon.

Le métal fondu doux demande à être traité avec ménagements, comme certains alliages spéciaux. On lamine du cuivre rouge, mais on n'essaye pas de laminer à cette couleur un alliage à 10 pour 100 de zinc. De même, un alliage à 60 pour 100 de zinc se laminera parfaitement à chaud et pas à froid. Il faut donc apprendre à traiter la matière comme elle le doit. L'acier est plus dur que le fer et se détériore plus que lui par le travail à froid; mais ce n'est pas une raison pour ne pas s'en servir.

Siemens répond qu'avant d'employer l'acier il faut le connaître. Quand on parle d'acier, il faut savoir lequel, puisque sa douceur peut varier depuis une malléabilité extrême jusqu'à la dureté des aiguilles et des poinçons, et adapter à sa qualité le traitement convenable. Si on reconnaît qu'il soit de la plus haute importance de déployer une plus grande intelligence dans l'emploi de l'acier que pour le fer, faut-il pour cela renoncer à cette matière? Ce serait malheureux pour notre époque.

M. Barnaby, après quelques autres interruptions sans importance, termine en disant qu'il attendra que la moyenne des produits anglais soit meilleure avant de se lancer dans des constructions faites avec ce métal.

En Prusse, que l'on a l'habitude de considérer un peu à tort comme le pays de l'acier de qualité tout à fait supérieure, les produits propres aux constructions n'existent pas encore d'une manière courante. Krupp, qui tient la tête pour les aciers de dureté moyenne employés dans la fabrication des canons, n'existe pas comme producteur d'aciers doux. Sa fabrication au creuset, son peu de sympathie pour les produits directs du Bessemer ou du Martin, qu'il considère plutôt comme des matières premières destinées à la fonte au creuset, ont retardé sa marche progressive dans cette voie. On peut donc dire qu'il n'y a rien à apprendre de ce côté.

La Hollande s'est lancée dans des constructions de ponts en acier; mais je crois, pour ma part, qu'elle a fait fausse route en employant à dessein des aciers demi-doux seulement, avec une forte charge de rupture et 15 pour 100 au plus d'allongement.

Aux États-Unis, nous voyons, d'après le rapport de M. Malézieux, que le grand pont de Saint-Louis, sur le Mississipi, sera fait en grande partie en acier. Mais j'avoue mon ignorance complète de cet *acier chromique* dont il est question. S'il renferme réellement du chrome, tant pis pour le pont de Saint-Louis ! car le chrome a la propriété de durcir considérablement l'acier, et la matière serait déplorable. Il est plus probable que c'est une marque de fabrique qui n'a pas plus de relation avec le chrome que la *Titanic steel C^y*, en Angleterre, ne met de titane dans ses aciers.

Nous voyons également que dans le projet du pont d'East-River, à New-York, l'acier entrera dans une certaine proportion.

Cependant, quand on connaît un peu les procédés de la fabrication des Américains, on ne s'étonne pas qu'ils n'emploient pas l'acier dans leurs constructions courantes ; ils ne savent pas jusqu'à présent faire l'acier doux, mais ils s'en occupent.

Du reste, ces questions ne tarderont pas à être éclairées dans ce pays, et je terminerai en vous disant quelques mots des recherches théoriques et pratiques sur l'emploi du fer et de l'acier qui vont bientôt commencer, sur l'instigation du gouvernement des États-Unis.

Sous le nom de *United States Board for government tests of Iron and Steel*, il est formé un Comité composé de sept membres :

2 lieutenants-colonels d'artillerie,
1 capitaine de vaisseau,
1 ingénieur en chef des constructions navales,
1 ingénieur civil.

Voici les instructions générales et le programme de ce comité :

Déterminer expérimentalement la résistance et la valeur de toutes espèces de fers, aciers et autres métaux qu'on leur donnera ou qu'ils pourront se procurer, et construire des tables qui donnent la résistance et la valeur de ces matériaux au point de vue de la construction.

A. *Usure et fatigue des métaux.* — Examiner et conclure sur l'usure et la fatigue des roues de chemins de fer, essieux, rails et autres matières, dans les conditions d'emploi ordinaire.

B. *Blindages.* — Essayer des blindages et tirer des expériences déjà faites les caractères du métal convenable à cet emploi.

C. *Recherches chimiques.* — Diriger ses recherches vers les relations mutuelles des propriétés physiques et mécaniques des métaux.

D. *Chaînes et câbles métalliques.* — Déterminer le caractère du fer le plus

convenable aux chaînes métalliques, la meilleure forme et les meilleures proportions pour le chaînon, et la meilleure matière pour câbles en fer et acier.

E. *Corrosion des métaux.* — Étudier les causes de la corrosion des métaux dans les conditions d'usage ordinaire.

F. *Effets de la température.* — Étudier les effets des variations de température sur la résistance et autres qualités du fer, de l'acier et autres métaux.

G. *Poutres et colonnes.* — Disposer et conduire des expériences pour déterminer les lois de la résistance des poutres et colonnes, au point de vue des changements de forme et de la rupture.

H. *Fer malléable.* — Examiner les propriétés mécaniques et physiques du fer et en faire un rapport.

I. *Fonte.* — *Idem* pour la fonte.

J. *Des alliages métalliques.* — Faire une série d'essais sur les caractères des alliages et étudier les lois de leur combinaison.

K. *Sur les efforts simultanés dans des directions orthogonales.* — Faire une série d'expériences dans le but de déterminer les lois de ces efforts.

L. *Phénomènes physiques.* — Rechercher particulièrement les phénomènes physiques qui accompagnent la torsion et la rupture.

M. *Réchauffage et relaminage.* — Faire des observations et des expériences sur les effets du réchauffage, du relaminage ou autre travail réitéré; comparer le martelage et le laminage, et étudier le recuit des métaux.

N. *Des aciers produits par les procédés modernes.* — Rechercher la constitution et le caractère des aciers faits au Bessemer, sur sole, et par d'autres méthodes modernes.

O. *Des aciers pour outils.* — Déterminer la constitution et le caractère des aciers pour outils et les qualités qu'ils doivent présenter.

Les sept membres du comité sont répartis entre ces quinze bureaux, composés de trois membres et suivant leurs aptitudes spéciales.

Chacun de ces bureaux essayera les échantillons qui lui seront fournis

ou qu'il achètera chez les marchands. Le comité publiera prochainement une circulaire relative à la forme sous laquelle les essais seront préparés et établissant en détail les renseignements qui seront demandés avant d'accepter des échantillons d'essai.

Pour l'instant, le président, le lieutenant-colonel d'artillerie *Laidley de Watertown* (*Massachusets*), demande par la voie de la presse une machine d'essai capable d'expérimenter à la traction et à la compression sur des échantillons de toutes les longueurs jusqu'à 9^m,15, et de toutes les épaisseurs ou largeurs jusqu'à 77 centimètres, avec une force maximum de 363 tonnes, etc., le tout devant être fourni dans le délai de cinq mois, et le délai pour recevoir les soumissions est le 12 juin. — Il est question également d'une autre machine de la force de 910 tonnes.

On voit sur quelle large échelle et avec quel vaste programme cette étude va être entreprise, et peut-être serait-il intéressant que la Société des Ingénieurs civils, qui compte tant de membres intéressés dans les questions étudiées, se mît en relation avec le président de ce comité pour lui soumettre quelques points d'étude plus spécialement intéressants.

Voici d'ailleurs la composition de ce comité et un exemple des demandes qu'il a adressées à la presse anglaise, relativement à la première question de son programme :

Président : Laidley, lieutenant-colonel d'artillerie.

Membres : Beardslee, officier de marine.
Gilmore, lieutenant-colonel d'artillerie.
David Smith, ingénieur des constructions navales.
Sovy Smith, ingénieur civil.
Holley, ingénieur civil.

Secrétaire : Thurston, ingénieur civil, *of the Stevens Institute of Technology*.

Le comité sera heureux de recevoir des renseignements certains et précis qui permettent au secrétaire de résumer, sous une forme concise, le mode de déformation, la rapidité d'usure et les lois qui régissent la résistance des métaux dans les cas ordinaires ou exceptionnels. Les ingénieurs de chemins de fer peuvent donner une aide utile en fournissant des états d'usure de rails par tonne transportée, en spécifiant avec soin le poids primitif du rail par mètre courant, le tonnage total qui a passé dessus, la durée de ce trafic, et en indiquant si le rail a été brisé ou relevé de la voie. En envoyant des échantillons de rails remarquables par la durée de leur service ou par leur défaut de qualité, on pourra déterminer les propriétés chimiques ou autres qui peuvent influencer les conditions d'usure.

Des statistiques et des renseignements analogues relativement à l'usure des roues, des essieux et autres parties du matériel roulant, présenteraient le même intérêt. Les ingénieurs qui ont des notes relevées avec soin sur ce sujet sont priés d'en donner copie au comité.

L'usure d'arbres ou d'essieux lourdement chargés et marchant à grande vitesse, ou dans des conditions ordinaires, sera très-intéressante à connaître. Il serait désirable d'avoir les dimensions de l'arbre, le maximum, le minimum et la moyenne du poids porté, la vitesse ou le nombre de tours par minute. La nature du graissage est un élément essentiel, et il faudrait noter sa composition, la quantité consommée et les intervalles qui séparent deux graissages. De même pour le coefficient de frottement, si on le connaît. Noter aussi s'il y a eu échauffement, dans quelles circonstances de pression et de vitesse des surfaces frottantes. Il serait intéressant de connaître également ce qu'il y aurait de particulier dans la disposition des supports en donnant une description succincte, mais exacte.

Un autre sujet à étudier, c'est l'usure des outils dans les différentes conditions de travail. Peser les outils avant et après sera peut-être le meilleur mode de détermination. Déterminer avec soin la surface travaillée ainsi que l'importance de chaque passage. La description de l'outil, sa forme, son mode d'agir, le genre de métal dont il est formé, la trempe adoptée, le métal qu'il est appelé à travailler, la rapidité de l'outil, tout cela doit être noté. Ces renseignements auront beaucoup plus de valeur si on envoie un spécimen de l'outil et des copeaux produits. Donner aussi la force nécessaire pour faire mouvoir l'outil, ce sera d'une grande valeur. Les recherches récentes de M. Tresca sur le rabotage des métaux, etc., sont un excellent exemple de méthode.

NOTE

SUR LA

CONSTRUCTION DES GAZOMÈTRES

EXTRAITE

D'UNE BROCHURE PUBLIÉE PAR LA COMPAGNIE PARISIENNE D'ÉCLAIRAGE
ET DE CHAUFFAGE PAR LE GAZ

A L'OCCASION

DE L'EXPOSITION DE VIENNE

PRÉSENTÉE PAR M. ARSON

dans la Séance du 6 Août 1875

Un gazomètre est toujours un ouvrage d'une grande importance parmi ceux que motive la construction d'une usine à gaz, non-seulement par la fraction du capital qu'il absorbe, mais encore par la difficulté même de son exécution. On comprend donc qu'il fasse l'objet de toute l'attention des constructeurs, qui doivent s'efforcer d'en diminuer la dépense de premier établissement et d'en assurer le bon fonctionnement.

La proportion d'un gazomètre ne saurait être assujettie à des règles fixes. Il est convenable d'en avoir plusieurs dont la capacité totale, qui dépendra de la nature du service à effectuer, sera capable d'emmagasiner la production qui s'opère dans les heures où la dépense n'a pas lieu. L'emplacement dont on dispose conduit presque toujours à déterminer le diamètre qu'il convient le mieux de donner à l'appareil, et la hauteur est alors la seule dimension que l'on reste libre de faire varier. Dans de bons terrains, on pousse la profondeur de la cuve jusqu'à douze mètres et demi, et alors on a peu de motifs d'avoir recours au système télescopique; dans les terrains où l'on rencontre l'eau à une petite profondeur, et où il serait difficile et coûteux de descendre la maçonnerie, on emploie le gazomètre télescopique.

Quel que soit le système adopté, le projet comporte inévitablement

plusieurs parties de natures très-différentes, qui réclament chacune l'attention de l'ingénieur. La nature du sol sur lequel l'ouvrage sera assis, celle du terrain avec lequel se fera le remblai autour de la maçonnerie, la nature de celle-ci et de l'enduit, la cloche et son système de guides, les tuyaux adducteurs, sont autant de questions qui se prêtent à des solutions très-diverses et entre lesquelles il importe de choisir avec un grand discernement, pour arriver à la fois à la solution la plus satisfaisante et la plus économique.

Une expérience, longue et déjà très-étendue, a jeté des jalons précieux dans l'étude de la question; mais elle ne l'avait pas résolue dans des termes précis et sûrs comme l'a fait la Compagnie Parisienne.

On avait bien réduit progressivement l'épaisseur de la maçonnerie qui forme la cuve, mais on ne savait pas jusqu'à quelle limite on pouvait impunément pousser cette condition économique. On avait fait disparaître successivement les chaînes et les contre-poids qui assuraient à l'origine la stabilité de la cloche pendant son déplacement, mais on n'avait pas apprécié les conditions de résistance auxquelles les guides doivent alors être assujettis. On faisait emploi de gorges hydrauliques pour rattacher ensemble les deux anneaux d'une cloche télescopique, mais aucune loi écrite et sûre ne guidait le constructeur dans la détermination des hauteurs du joint hydraulique qui fait cette jonction.

La Compagnie Parisienne ne pouvait se contenter d'une telle indétermination.

Tous ses travaux doivent être exécutés sur des données trop certaines pour qu'il lui convînt de confier au hasard d'une expérience non raisonnée le succès d'ouvrages qui devaient absorber la plus grosse partie de ses capitaux. Elle a étudié et résolu toutes les questions posées dans cet important problème de la construction des gazomètres.

Toutefois, comme il est du caractère de la sagesse de se hâter lentement, elle n'a généralisé ses méthodes qu'après en avoir poussé progressivement les termes jusqu'à leur limite extrême, cette limite lui étant d'ailleurs indiquée à l'avance par des considérations théoriques qui ne trompent pas. Elle a étudié chacun des sujets qui entrent dans la composition de ces grands ouvrages, elle en a tiré des règles générales qui s'appliquent à tous les cas possibles et, après en avoir vérifié elle-même l'exactitude dans des travaux importants, elle croit pouvoir et devoir les publier.

Dans cette étude, tous les cas possibles ne sont évidemment pas prévus ni résolus, mais il sera facile à ceux qui auraient à traiter des solutions exceptionnelles d'introduire dans la méthode les modifications convenables et nécessaires. Ainsi les considérations qui sont développées plus loin sur la résistance des remblais et la possibilité de réduire, par leur concours, l'épaisseur de la maçonnerie, ne seront pas applicables aux constructions faites hors du sol. De même ne pourra-t-on

pas tirer un parti immédiat des théories qui sont données sur la construction des guides, alors qu'on ne pourra se procurer la tôle nécessaire pour les construire dans le système qui est réalisable à Paris, et qui est adopté par la Compagnie Parisienne; mais au moins pourra-t-on tirer, des considérations mathématiques qui sont appliquées à l'étude de ces ouvrages, des règles capables de fournir une bonne solution dans d'autres cas.

Il convient d'examiner séparément les questions qui se rattachent aux chapitres suivants, savoir :

1° **Terrassements;**

2° **Maçonnerie;**

3° **Ciments et Enduits;**

4° **Cloche simple ou télescopique et galets;**

5° **Tuyaux adducteurs;**

6° **Guides;**

7° **Échafaudage pour la construction et le support de la cloche.**

1° TERRASSEMENTS.

La construction des grands gazomètres commence par les terrassements à faire pour creuser l'excavation destinée à recevoir la cuve en maçonnerie.

Examen de la nature des terrains qui doivent recevoir la cuve. — Le terrain, dans lequel s'exécute la fouille, peut être de trois natures différentes :

Ferme et pouvant être taillé à pic ;

Ébouleux et nécessitant une tranchée plus ou moins inclinée ;

Ferme dans certaines parties et ébouleux dans d'autres, comme cela arrive nécessairement dans les endroits où le terrain naturel et solide a été partiellement comblé et nivelé à l'aide de remblais rapportés à une époque antérieure.

Ce premier cas est le plus avantageux qui puisse se présenter et l'on n'a évidemment à l'indiquer ici que pour mémoire.

Les deux autres, au point de vue de l'exécution, peuvent être considérés comme identiques : il convient toujours, en effet, d'enlever les terres meubles et de les remplacer par un ouvrage suffisamment résistant. On peut, — soit établir des éperons en maçonnerie pour étayer et arcbouter la cuve, ou, simplement, exagérer l'épaisseur de celle-ci jusqu'à concurrence de la résistance à obtenir, — soit interposer, entre l'extrados de la cuve et le sol naturel, des remblais assez résistants pour arriver au même résultat. Cette dernière solution est évidemment la plus économique, et elle a été employée plusieurs fois avec succès, notamment dans l'exécution d'un gazomètre de 25,000 mètres cubes, construit à l'usine des Ternes (*). C'est ce dernier, l'un des plus considérables qui ait été établi, à Paris, sur la construction duquel il paraît intéressant de donner quelques renseignements.

Terrains meubles enlevés, devant être remplacés par un remblai convenablement résistant. — La cuve du gazomètre devait avoir 1^{m},30 d'épaisseur, et elle avait à supporter à sa base une charge d'eau de 12^{m},75, tendant à la renverser du dedans vers le dehors.

(*) Le gazomètre le plus important de la Compagnie est celui qui a été construit à La Villette en 1870-71. — Sa capacité est de 31,000 mètres cubes.

Le sol factice, qui a dû être enlevé en sus de la fouille théorique, constituait un cube de 6,800 mètres, présentant un maximum de largeur de 12 mètres.

Il a été remplacé par du sable pilonné et arrosé par couches minces, au fur et à mesure de la construction de la cuve.

On sait, en effet, que le sable pilonné et arrosé constitue une excellente fondation pour les édifices. Dans ce cas, c'est à des pressions verticales qu'il est appelé à résister. On a étendu la résistance aux pressions horizontales, à la suite d'expériences directes qui vont être décrites.

Expériences sur la résistance des remblais à la compression.

Recherches préliminaires pour étudier la résistance à la compression de divers remblais pilonnés. — En conséquence, il a été procédé, avant l'exécution du travail, à une série d'expériences destinées à faire connaître les charges que peut supporter, sans se comprimer, une unité de surface de remblai pilonné et arrosé, et à préciser ainsi, par les résultats d'essais directs, la valeur de plusieurs sortes de remblais, au point de vue de leur résistance à la compression.

On a successivement essayé le sable, le tuf blanc du terrain de Paris et la terre végétale mélangée de gravois, qui constitue un remblai assez répandu à Paris.

Description des appareils et procédés employés. — Les deux appareils dont on s'est servi sont les suivants :

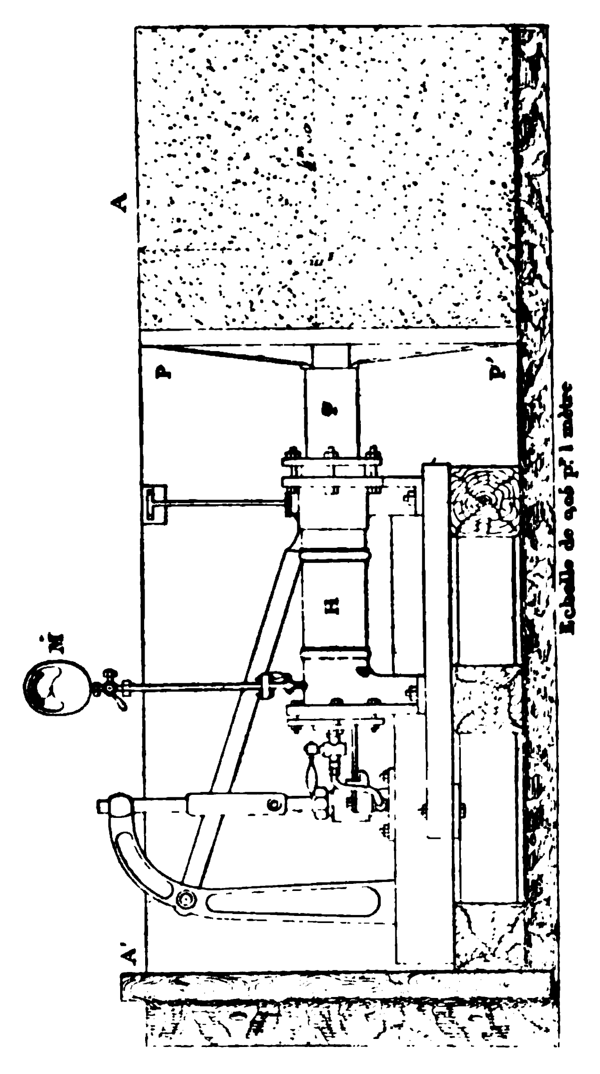
1° *Pour les faibles pressions.* — Une tranchée a été pratiquée dans le sol ayant 1 mètre de large sur 1 mètre de haut, et environ 7 mètres de long.

A 4 mètres de l'une de ses extrémités A a été fixé bien solidement, en travers de la tranchée, un plateau en fonte PP', carré, ayant 1 mètre sur 1 mètre, et l'on a pilonné plusieurs sortes de remblais dans cette tranchée. La plaque en fonte était renforcée extérieurement par des nervures.

Dans la partie restée vide de la tranchée a été installée une presse hydraulique H, invariablement liée à un bâti en bois qui a été fortement arcbouté, à l'aide de gros madriers, contre la paroi verticale postérieure A' de la tranchée.

Le piston P de la presse hydraulique pouvait agir au centre du plateau en fonte et comprimer, par l'intermédiaire du plateau, le remblai pilonné. Le diamètre de ce piston était de $0^{m},135$. Un repère fixe per-

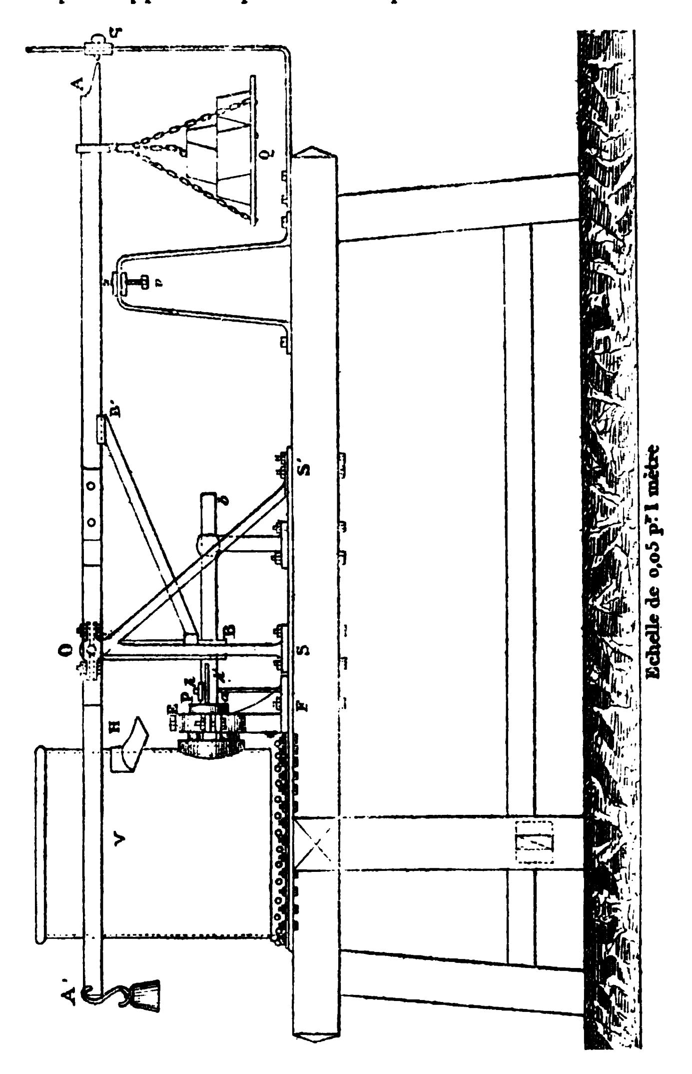
mettait de s'assurer de l'invariabilité de position de la presse hydraulique. Un autre repère fixe donnait le moyen de mesurer les mouvements du piston et, par suite, l'enfoncement du plateau en fonte dans le remblai.



Les expériences ont été poussées jusqu'à la pression de 12 atmosphères, accusée au manomètre M de la presse hydraulique, ce qui correspondait, sur la plaque en fonte et, par suite, sur la paroi verticale du remblai, à une charge uniformément répartie de 17 kilogrammes par décimètre carré.

On indiquera tout à l'heure les résultats qui ont été obtenus.

2° *Pour des pressions supérieures à celle ci-dessus mentionnée.* — On a construit le petit appareil représenté ci-après :



Il consiste en un vase cylindrique V en tôle, de $0^m,50$ de diamètre intérieur et de $0^m,65$ de hauteur, percé d'un ajutage circulaire de 1 décimètre carré de section, dont le centre est placé à $0^m,15$ au-dessus du fond. Au bas de ce cylindre en tôle est rivée une cornière circulaire qui est boulonnée à une plaque en fonte solidement fixée elle-même à un bâti en chêne.

Le trou du vase est traversé par un piston P terminé par une tige *ab* qui est guidée à son extrémité comme le représente le dessin.

Un levier en fer AOB repose sur un support également en fer SOS′ qui est boulonné au bâti. Ce levier est composé de deux branches : l'une OA, qui a $1^m,50$ de long et qui supporte un plateau mobile Q destiné à recevoir des poids; — l'autre OB, ayant $0^m,30$ de long, qui agit à son extrémité, par une fourchette et une clavette, sur la tige du piston ci-dessus mentionné. Une équerre en fer BB′ reliant les deux branches, ainsi que le représente le dessin, empêche la flexion du grand bras de levier sous l'action des charges croissantes.

Pour éviter de tenir compte, dans les expériences, du poids du levier lui-même, il a été équilibré à l'aide d'un contre-levier circulaire OA′ et d'un poids π. — L'appareil est rendu de la sorte très-sensible.

Un étau EF, boulonné à la plaque de fonte qui supporte le cylindre, permet d'arrêter le piston pendant l'opération du pilonnage du remblai dans le vase. Un écran H incliné, en tôle, protége le piston contre les éclaboussures du remblai.

Quand le pilonnage est terminé, on fixe la position du grand bras du levier, à l'aide d'une vis verticale v, représentée sur le dessin, et on repère son extrémité à l'aide d'un curseur gradué q qui se meut sur une tige verticale. On repère également, comme vérification, la position du piston à l'aide d'une réglette horizontale h graduée qui est fixée au bâti; — en regard de celle-ci se trouve une graduation h' marquée sur la tige du piston. De cette façon, on peut apprécier directement les mouvements du piston.

Cela fait, on desserre l'étau et l'on met des poids dans le plateau. On fait descendre la vis verticale qui supporte le grand bras du levier et l'on regarde s'il y a eu enfoncement du piston. Si aucun mouvement n'est observé, on remonte la vis pour supporter le grand bras du levier et l'on ajoute des poids dans le plateau. Puis on fait redescendre la vis, et l'on répète cette manœuvre jusqu'à ce que le piston s'enfonce.

On voit qu'avec cet appareil on peut arriver à exercer des pressions bien plus considérables que dans l'expérience avec la presse hydraulique.

Pour les faibles pressions, les deux appareils ont donné des résultats parfaitement concordants. Pour celles qui ont dépassé 17 kilogrammes par décimètre carré, on n'a pas eu ce double contrôle, et l'on a enregistré les résultats fournis par le petit appareil seulement.

Résultats obtenus. — On a déterminé ainsi les résistances à la compression des divers remblais expérimentés.

Ils ont été pilonnés par couches de cinq centimètres. Il a été constaté en effet par des expériences préliminaires que la densité du sable de rivière reste la même, quelle que soit l'épaisseur des couches, à la condition que cette épaisseur ne dépasse pas douze centimètres; mais les

autres remblais demandent à être pilonnés par couches plus minces, c'est-à-dire ne dépassant pas cinq centimètres.

Le sable de plaine lui-même, qui contient quelques parties argileuses, est moins bien pilonné par couches de 0m,12 que par couches minces de 0m,04 à 0m,05. Les parties argileuses qui y sont contenues sont mieux refoulées dans les vides du sable par le pilonnage en couches minces que par celui en couches épaisses, et, par suite, la densité du remblai est plus forte dans le premier cas (1940 kilogrammes le mètre cube) que dans le second (1900 kilogrammes le mètre cube).

Le sable de rivière pilonné pèse, dans les deux cas, 1800 kilogrammes le mètre cube.

Le sable de rivière est le remblai qui se comprime relativement le moins au pilonnage; d'où il résulte que ce remblai doit être le meilleur.

En comparant, par exemple, la terre végétale au sable de rivière, on trouve au pilonnage les différences suivantes;

Le mètre cube de sable de rivière pèse. . . .	1500	kilogrammes.
— du même pilonné — . . .	1800	
Différence . .		300
Le mètre cube de terre végétale pèse	1200	kilogrammes.
— pilonné — . . .	1800	
Différence . . .		600

La densité du remblai de terre végétale est donc augmentée de la proportion énorme de 33 pour 100 par l'effet du pilonnage, tandis que celle du remblai de sable de rivière ne l'est que de 20 pour 100.

Pour se rendre compte de la quantité de vides que contient encore le sable de rivière, une fois pilonné, on a pilonné avec grand soin du sable dans un hectolitre en tôle, et l'on y a ensuite versé de l'eau jusqu'à refus. Le sable a pu absorber 20 litres d'eau; d'où il suit que le sable de rivière pilonné renferme 20 pour 100 de vides.

On a cherché à remplir, au moins partiellement, ces vides avec du sable argileux très-fin, et l'on a réussi à en introduire 17,7 pour 100 sans faire changer son volume primitif. A cet effet l'hectolitre de sable pilonné a été vidé et on y a mélangé du sable argileux; puis on a rempli à nouveau l'hectolitre avec le mélange, en le pilonnant par petites couches. On a trouvé, après deux ou trois tâtonnements, qu'en mélangeant aux 100 litres de sable de rivière pur, 17,7 litres de sable argileux fin, on réussissait à faire rentrer tout le mélange pilonné dans l'hectolitre. C'est un remblai qui présente le maximum de compacité, car il ne contient plus que 20 — 17,7 soit 2, 3 pour cent de vides!

Il ne faut pas croire, toutefois, que ce remblai soit préférable au sable de rivière pur pilonné. En effet, les eaux pluviales détremperont à la longue la terre argileuse qu'on aura fait ainsi entrer dans les vides du

remblai, et, finalement, le mélange n'étant plus homogène, présentera des parties qui ne seront peut-être plus également résistantes.

L'opération de l'arrosage est indispensable, parce qu'elle facilite le groupement des molécules du sable et réduit le volume au minimum. Un semblable remblai de sable de rivière pilonné, ayant pris sa position d'équilibre définitive, n'est plus sujet aux variations de groupement moléculaire, et, par suite, aux variations de résistance. De plus, la dessiccation de ce remblai n'entraîne, en aucune façon, le retrait et le fendillement qui se manifestent toujours dans les remblais argileux.

L'arrosage à grande eau produit en outre un effet analogue à celui du pilonnage. On l'a constaté en pilonnant d'abord du sable dans un demi-hectolitre (mesure cylindrique en tôle qui a $0^m,40$ de diamètre et $0^m,40$ de hauteur) qui a été ensuite vidé. Puis on a versé ce même sable avec un excès d'eau, par petites couches, en l'agitant chaque fois avec une baguette et sans se servir du pilon. Non-seulement on a réussi à faire entrer dans la mesure tout le volume primitivement pilonné, mais encore il s'en est fallu de $0^m,005$ de hauteur que la mesure fût pleine.

Cela faisait une diminution de volume de 1,2 pour 100. Ce sable ne contenait donc plus que 18,8 pour 100 de vides, au lieu de 20 pour 100.

Si l'on pilonne le sable en imbibant ainsi d'eau les diverses couches, on arrive à une diminution de volume de 3 pour 100, c'est-à-dire qu'il ne contient plus que 17 pour 100 de vides.

Il résulte de ces diverses expériences que l'arrosage du sable à grande eau doit être combiné avec l'opération du pilonnage; mais il faut que le sable soit bien pur et surtout qu'il ne renferme pas d'argile.

Ayant ainsi indiqué les effets du pilonnage et de l'arrosage des remblais sur le degré de tassement qu'on peut leur faire atteindre, il convient de donner les chiffres des résistances obtenues avec les appareils décrits, pour la terre végétale, le tuf blanc et le sable pilonnés.

1° *Terre végétale humide pilonnée :* La résistance de ce remblai à la compression a été trouvée de 44 kilogrammes par décimètre carré. A 47 kilogrammes, il y a eu enfoncement du piston de 1/2 millimètre; et à 90 kilogrammes, enfoncement de 1 millimètre.

2° *Le tuf blanc*, simplement humide aussi, mais non arrosé, a résisté jusqu'à 80 kilogrammes; en augmentant progressivement la charge jusqu'à 93 kilogrammes par décimètre carré, on a trouvé une compression de 1/4 de millimètre. Cet état d'équilibre s'est maintenu jusqu'à ce que la pression atteignît 184 kilogrammes par décimètre carré. A ce moment, comme la paroi du remblai continuait à résister, on a pesé fortement sur l'extrémité du levier et on a réussi à produire une compression de 2 millimètres.

3° *Le sable de rivière arrosé et pilonné* a résisté jusqu'à 100 kilogrammes par décimètre carré; au delà on a constaté un enfoncement du piston d'une très-petite fraction de millimètre.

Classement, par ordre de résistance, des divers remblais pilonnés et arrosés. — Il résulte de ces diverses expériences que si nous appelons 1,00 la résistance à la compression du sable de rivière arrosé et pilonné :

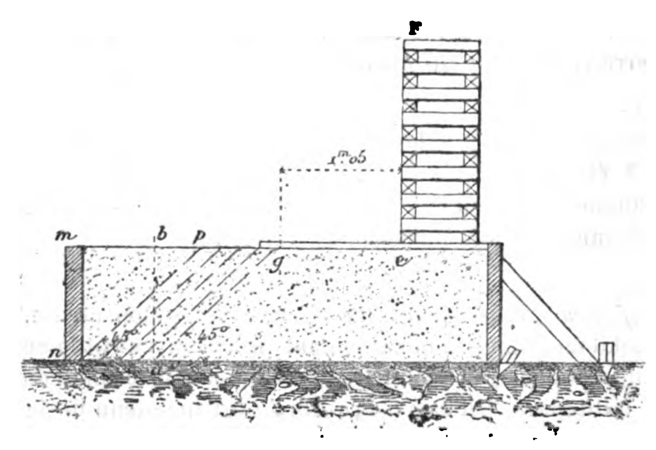
0,80 représentera celle du tuf blanc pilonné,
et 0,44 représentera celle de la terre végétale humide.

Tels sont les résultats obtenus et qui ne sont pas sans intérêt pour les praticiens.

Le sable pilonné transmet très-mal la pression, et, par suite, il constitue un excellent remblai, de même que d'excellentes fondations de bâtiments; ses molécules s'arcboutent les unes contre les autres (*).

(*) On peut rappeler, à ce sujet, ce fait bien connu des mineurs, que le sable constitue un excellent bourrage pour les coups de mine. — On rappellera également que des pilots en sable ont très-avantageusement remplacé les pilots en bois pour des fondations de bâtiments, parce que les premiers, outre des pressions verticales sur le fond des trous, ont encore exercé des pressions obliques sur les parois. C'est M. Bélanger, ingénieur en chef des ponts et chaussées, qui a rapporté ce fait dont il a lui-même fait l'expérience.

M. le maréchal Niel, dans des expériences sur les remblais en sable, qu'il a entreprises en 1838, alors qu'il était capitaine du génie, a démontré directement qu'une pression donnée qu'on exerce sur du sable ne se propage qu'à une certaine distance du point où elle est exercée. D'où l'on peut déduire l'empâtement à donner à un massif de sable chargé d'un certain poids (fondations d'un bâtiment, par exemple), pour que les couches latérales fas-



sent équilibre à l'accroissement de poussée dû à ce poids. Voici comment il décrit son expérience : (Voir les *Annales des Ponts et Chaussées*, tome XIV, 1re série, page 205.)

« Nous avons pris une caisse sans fond de 3m,50 de long sur 2 mètres de large et de

A la suite des expériences qui précèdent, les ingénieurs de la Compagnie Parisienne, chargés de la construction du gazomètre de l'usine des Ternes, n'ont plus hésité à remplacer par des remblais de sable pilonné et arrosé les terrains rapportés qui avaient dû être enlevés entre l'extrados de la cuve du gazomètre et la paroi du terrain naturel constituant l'excavation. Toutefois, la partie supérieure (1m,50 environ) a été comblée, par raison d'économie, en remblai de terre ordinaire pilonnée. Les derniers mètres du mur de la cuve n'ont en effet à supporter qu'une très-faible pression.

La question de la solidité de la cuve du gazomètre s'est trouvée ainsi parfaitement résolue.

---

1 mètre de hauteur. Après l'avoir posée sur un sol bien nivelé, on l'a remplie de sable et on a élevé sur une de ses extrémités un massif formé de gueuses en fonte F, du poids de 15,000 kilogrammes qui reposait sur un plateau de madriers de 1m,90 de long et 0m,80 de large, de sorte que la pression était de 9,868 kilogrammes par mètre carré.

« Pendant le chargement, le plateau ne s'est pas enfoncé de plus de 3 millimètres. On a laissé le massif reposer sur le sable jusqu'au lendemain et l'on a remarqué que l'enfoncement du plateau n'avait pas augmenté, et que, sur les côtés, les grains de sable n'avaient pas éprouvé le moindre dérangement. Ayant ensuite abattu la paroi *mn*, qui se trouvait du côté opposé à la charge et qui avait 2 mètres de large sur 1 mètre de haut, le sable s'est éboulé suivant son talus naturel *np*, d'à peu près 45°, sans que la charge ait bougé et ce talus se reproduisait en reculant parallèlement à lui-même, quand on enlevait peu à peu du sable à sa partie inférieure. Lorsqu'on fut ainsi parvenu au point *a*, tel que le sommet *g* du talus ne se trouvait plus éloigné du pied du massif de fonte *e* que de 1m,05, ce massif s'est penché sur le côté et a croulé. C'était donc vers ce point que la poussée due à la charge commençait à se faire sentir. Ainsi, en élevant au point *a* une paroi verticale *ab*, elle n'aurait eu à résister qu'à l'action de la poussée provenant du prisme du sable *bag*. »

On voit par là qu'une partie du sable seulement a été comprimée, mais que l'autre a conservé son état d'équilibre ordinaire.

Cette expérience présente un très-grand intérêt. Elle prouve, une fois de plus, la supériorité du remblai de sable par suite de sa mauvaise transmissibilité des pressions.

2° MAÇONNERIE.

Cuves des gazomètres.

La maçonnerie qui compose la cuve d'un gazomètre absorbe une grosse partie de la dépense totale que nécessite l'établissement de cet ouvrage, et commande, par conséquent, l'emploi scrupuleux de tous les éléments possibles de succès.

Dans le chapitre précédent, on a vu à quelles conditions est assurée la stabilité complète d'une cuve de gazomètre. Lorsque la profondeur de cette cuve dépasse 10 mètres, il est indispensable de faire coopérer la maçonnerie à la résistance.

La maçonnerie de la cuve possède deux éléments qui interviennent d'eux-mêmes : son poids, qui s'oppose au renversement de chaque prisme vertical élémentaire, suivant lesquels on peut décomposer l'ensemble par la pensée; sa cohésion, qui oppose une résistance horizontale qu'il importe de ne pas méconnaître. Ces éléments varient d'ailleurs dans leur valeur avec la nature des matériaux employés.

Le moellon calcaire, la meulière et la brique peuvent servir à la construction des cuves des gazomètres. Les mortiers sont confectionnés avec des chaux hydrauliques à prise plus ou moins rapide ou avec du ciment de Portland.

Choix des matériaux. — *Meulières.* — La meulière présente des qualités très-appréciables : elle est dense, rugueuse, imperméable et se prête à la confection d'ouvrages présentant une grande cohésion. Malheureusement ces qualités sont trop souvent contrebalancées par des défauts d'une gravité telle qu'il faut renoncer à son emploi. Elle peut être légère et friable à ce point que le moellon lui soit préférable; elle est presque toujours sale, et le mortier, dans ce cas, ne peut y adhérer; enfin elle est toujours difforme et donne lieu dans l'emploi à des défauts qui lui font perdre tout le mérite de ses qualités. Ainsi les ouvriers les plus exercés la font pénétrer dans le mortier dont ils ont garni son lit, en frappant dessus à coup de marteau et ne s'arrêtant de frapper, qu'alors qu'ils ont entendu résonner un bruit qui révèle que la pierre qu'ils posent a rencontré les autres pierres du rang inférieur, et c'est trop tard. Après ce coup, le mortier est détaché de la pierre en œuvre et laisse un libre

passage aux infiltrations. Ce défaut inhérent à la matière et à l'irrégularité de ses formes a déterminé la Compagnie Parisienne à renoncer à l'emploi de la meulière.

Briques. — La brique bien cuite et solide constitue un excellent élément pour la construction d'une cuve de gazomètre. Son prix d'acquisition et son abondance sur la place décident seuls de son emploi. Elle manque à Paris et oblige par conséquent la Compagnie Parisienne à recourir au moellon.

Moellon. — Quant au moellon, il importe par dessus tout qu'il soit pourvu de deux faces parallèles sensiblement planes, rendant sa pose facile et sûre. Sa dureté est une qualité secondaire, mais intéressante cependant, puisqu'elle doit être supérieure à celle du mortier dont on fera emploi. Enfin il ne doit pas être gélif, parce que ce caractère correspond à une nature mauvaise, et qu'il peut se désagréger sous d'autres actions que celle du froid.

Pose des matériaux. — Quels que soient les matériaux préférés, ils doivent être mis en place de manière à satisfaire à une condition qui peut seule assurer le concours de la résistance du sol. Si le terrain est taillé suivant la forme extérieure que doit avoir l'ouvrage en maçonnerie, celle-ci doit y être appuyée fortement. Chaque pierre doit être frappée horizontalement, de manière à s'imprimer dans la terre en faisant refluer le mortier qui a été jeté entre elle et le terrain, de telle sorte que la pression exercée par l'eau de la cuve puisse être transmise par la maçonnerie à la terre sans déplacement, sans fissure de l'ouvrage. Cette condition est indispensable pour assurer à la résistance le concours du sol. Si des éboulements partiels se produisent dans le terrain, les cavités doivent être soigneusement remplies, soit par la maçonnerie, soit par un bourrage en sable, afin que la pression de l'eau soit reportée sur la surface du sol malgré cette déformation.

Mortier. — Le mortier employé pour établir la liaison entre ces divers matériaux, quels qu'ils soient, joue un rôle important dans le succès de l'ouvrage. Les chaux faiblement hydrauliques ou même celles qui acquièrent une grande dureté sous l'eau, mais dont la prise est lente, sont d'un usage incommode. Celles qui se solidifient trop vite, comme le ciment romain, sont d'un emploi difficile et presque toujours défectueux. Le Portland, qui prend seulement douze heures après son emploi, est certainement la matière la plus propice à la confection d'un bon ouvrage.

Épaisseur des cuves. — L'épaisseur et la forme de la cuve dépendent à la

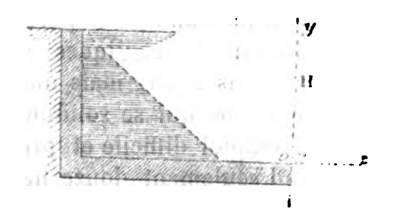
fois des exigences des ouvrages qu'elle doit supporter et de la résistance qu'elle doit ajouter à celle du terrain. Si celui-ci est solide, et s'il peut être taillé verticalement, la cuve présente une épaisseur uniforme. Si le terrain est ébouleux, et s'il doit être enlevé puis rapporté, comme il arrive pour le sable, la cuve peut être élevée avec une épaisseur réduite, excepté sous les assises des colonnes qui forment alors des piles espacées. Ce dernier mode de construction a été adopté à Vaugirard avec un plein succès.

Équilibre des forces et des résistances dans une cuve de gazomètre. — L'étude de l'équilibre entre la poussée de l'eau contenue dans une cuve de gazomètre et la somme des résistances que lui opposent l'ouvrage en maçonnerie qui la compose et le terrain qui l'environne, constitue un problème facile à résoudre avec les données que la Compagnie Parisienne a recherchées ou établies.

L'observation a d'abord fait connaître que la rupture de ces cuves se produisait toujours suivant une génératrice verticale, que l'ouverture avait son maximum de largeur au bord supérieur et allait en se perdant vers le bas. On est donc autorisé à considérer que l'ouvrage est exposé à un renversement ayant son plus grand mouvement au sommet, tandis qu'on eût pu être disposé à admettre que ces cuves se rompraient à la base, là où la pression qui s'exerce sur elles atteint son maximum.

On a constaté aussi que le mouvement de renversement qui se produit est extrêmement limité, qu'il n'apparaît souvent que par une fente à peine visible, et on est conduit à en conclure que ce très-petit déplacement suffit pour faire intervenir la résistance du sol dans une proportion qui limite la déformation, conséquence de l'accident. On est donc autorisé à penser qu'une pression préalable du sol sur la maçonnerie aurait empêché la rupture, et on reconnaît l'intérêt qui s'attache à faire appliquer fortement les matériaux contre les terres.

Partant des observations qui précèdent, l'étude analytique de la question doit admettre que le mouvement qui tend à se produire aurait pour effet de rompre la cuve en deux parties égales, chacune d'elles tendant à



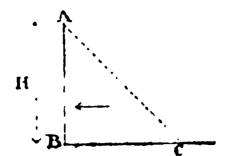
se mouvoir dans un sens opposé, et les ruptures devant se produire dans un plan passant par l'axe vertical de la cuve. Il est nécessaire d'admettre

aussi que la résistance de la maçonnerie et celle du remblai seront uniformes. Il est convenable enfin, dans le raisonnement mathématique à suivre, de ne pas introduire l'hypothèse d'une déformation, si petite qu'elle soit, dans aucune partie de l'ouvrage, et de poser la question d'équilibre sans faire usage de cette méthode, qui ne saurait s'appliquer à un corps dépourvu d'élasticité. C'est ce premier mouvement, si petit qu'on le suppose, qu'il faut éviter, et il n'est pas logique de l'admettre, même pour asseoir le raisonnement.

Les forces à considérer sont : d'une part, la pression de l'eau; d'autre part, le poids de la maçonnerie, sa cohésion et la pression des terres.

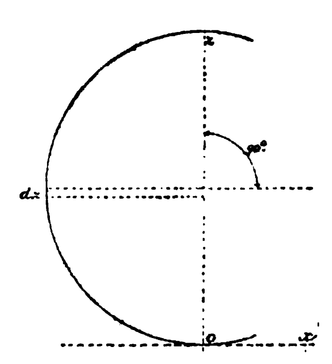
Pression de l'eau. — La pression de l'eau a une expression élémentaire connue qu'il n'y a qu'à totaliser. Chaque bande verticale du cylindre intérieur de la cuve, ayant une largeur dz, est pressée comme elle le serait par un prisme droit élevé sur le triangle rectangle ABC et ayant la hauteur dz; et si l'on considère que le centre de gravité de ce triangle est situé au tiers de la hauteur H, on est conduit à écrire que la pression exercée par l'eau sur l'élément vertical de largeur dz est :

$$1000 \frac{H^2}{2} dz.$$



Son moment, par rapport à l'arête extérieure de sa base, est aussi :

$$1000 \frac{H^2}{2} dz \frac{H}{3},$$



et la somme de ces moments, autour de ce même axe, sera par conséquent :

$$1000\,\frac{H^2}{2}\,D\,\frac{H}{3} = 1000\,D\,\frac{H^3}{6}. \qquad (1)$$

Les résistances qui s'opposent à ce mouvement sont de trois natures, avons-nous dit, savoir :

1° Celle du remblai pilonné;
2° Celle du poids de la maçonnerie;
3° Celle de sa cohésion.

Résistance des remblais. — On a vu, au chapitre précédent, que le remblai peut fournir, suivant sa nature et le soin apporté à sa confection, une résistance qui varie de 4,400 kilogrammes à 10,000 kilogrammes par mètre carré, et cela, à quelque profondeur qu'on le considère.

Cette résistance élémentaire à la compression du remblai étant représentée par C, sa somme projetée sur l'axe OX parallèle au mouvement supposé interviendra, dans l'équilibre à considérer, sous la forme :

$$CD'H,$$

D′ étant le diamètre extérieur de la cuve et H sa hauteur; son moment de résistance autour de l'axe OZ sera :

$$(^*) \qquad CD'H\,\frac{H}{2}, \qquad \text{soit : } CD'\,\frac{H^2}{2}. \qquad (2)$$

Résistance du poids de la maçonnerie. — La maçonnerie considérée comme un corps pesant, mais sans liaison dans ses plans de joints verticaux, ne semble pas tout d'abord pouvoir offrir une résistance utile au mouvement de déformation qui tend à se produire. Elle repose sur le sol, qui lui oppose une résistance égale à son poids, et si l'on voulait prendre les moments de ces deux forces égales et opposées, on n'ajouterait aucun élément utile à l'expression de la résistance.

Le concours apporté par le poids de la maçonnerie ne se présente donc

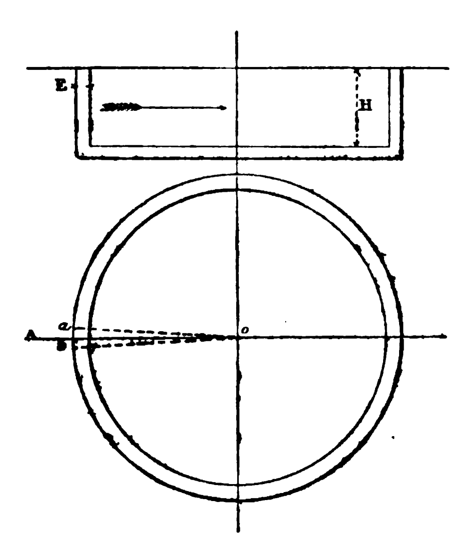
---

(*) Si les terres étaient meubles il conviendrait d'admettre que le point d'application de la résultante des poussées est au tiers de la hauteur, et alors le moment de ces poussées ne serait que :

$$CD'H\,\frac{H}{3};$$

mais les considérations développées précédemment (page 637), sur les poussées horizontales qu'engendre le pilonnage et qui sont indépendantes de la compression due au poids des couches supérieures, conduisent à supposer l'égalité des pressions horizontales à toutes les hauteurs.

pas directement sous une forme qui puisse être introduite dans l'équation que nous nous proposons d'établir. Une transformation est nécessaire



en effet, pour lever cet embarras, mais elle nous paraît autorisée et satisfaisante.

Ainsi que l'expérience l'indique, la maçonnerie tend à se renverser par prismes verticaux tout autour de la cuve; chaque élément se mouvant autour de la tangente *ab* à la base, en restant dans un plan vertical dont la trace horizontale est AO et qui passe par le centre de figure de la cuve; il oppose à ce renversement le moment dû à la résistance de son poids; soit par unité de circonférence :

$$PHE\frac{E}{2},$$

P étant le poids de l'unité de volume, E l'épaisseur de la cuve.

Or ce moment a pour équivalent celui d'une force horizontale qui agirait au centre de gravité avec un rayon $\frac{H}{2}$ et une intensité Q, qu'on déduirait de l'équation suivante :

$$PE^2\frac{H}{2} = \frac{H}{2}Q.$$

Par conséquent cette force

$$Q = PE^2$$

et la somme de ses moments élémentaires autour de l'axe OZ donnerait une résistance totale exprimée ainsi :

$$QD' \frac{H}{2} = \frac{PE^2D'H}{2}. \qquad (3)$$

D' étant le diamètre extérieur de la cuve; et on peut admettre cette expression comme étant celle qui convient à la résistance due à la pesanteur.

Résistance due à la cohésion. — Mais la maçonnerie n'oppose pas que son poids à la force de renversement qui tend à rompre la cuve, sa cohésion joue un rôle important qu'il ne faut pas négliger.

Cette résistance à la rupture par traction agit nécessairement au centre de gravité de la section, c'est-à-dire dans le cas particulier qui nous occupe, à la moitié de la hauteur. Si l'on appelle K cette force par mètre carré, on pourra écrire sa valeur correspondante à la section de l'ouvrage dont l'épaisseur est E :

$$KHE.$$

Sa résistance s'exerce nécessairement dans le plan de rupture possible et apporte par conséquent à la résistance totale et pour les deux sections comprises dans ce plan, l'élément :

$$2KHE \frac{H}{2}, \qquad \text{soit : } KH^2E. \qquad (4)$$

L'expression de l'équilibre, dans l'hypothèse d'une rupture imminente, sera donc :

$$1000 \frac{H^3D}{6} = \frac{CD'H^2}{2} + \frac{PE^2D'H}{2} + KH^2E,$$

et de cette équation simple, dans laquelle l'épaisseur E sera en général la seule inconnue, on déduira sa valeur.

Très-généralement d'autres considérations auront conduit à donner à cette quantité E une valeur commandée par la nature des matériaux employés ou par les formes des corps dont elle doit être chargée; dans ce cas on vérifiera seulement si elle satisfait à la condition d'équilibre qui vient d'être établie, et pour cela on introduira des valeurs arithmétiques au lieu et place des signes généraux qui y figurent.

Le coefficient C relatif à la résistance du remblai a été déterminé par les soins de la Compagnie Parisienne du gaz comme il a été dit plus haut (pages 637 et 638). Il varie de 4,400 kilogr. par mètre carré pour la terre végétale, à 10,000 kilogr. pour le sable de plaine pilonné et arrosé.

Le poids P du mètre cube de maçonnerie est approximativement :

Maçonnerie de briques.	1,800 kilogr.
Maçonnerie fraîche de moellons.	2,200
Maçonnerie de meulière.	2,500

La résistance à la rupture par traction, que nous avons désignée par K, est toujours plus forte pour les matériaux que pour le mortier, il n'y a donc lieu de s'occuper que de celle-ci. On trouvera ces coefficients au chapitre suivant.

Les trois forces résistantes qui concourent à assurer la stabilité des gazomètres, la pesanteur et la cohésion de la maçonnerie, puis la compression des terres n'agissent pas toutes trois au même moment de la résistance à produire. Le poids, par exemple, ne sera mis en œuvre que si la maçonnerie tend à tourner autour de son arête extérieure. Il n'est donc pas prudent d'admettre que cet élément interviendra dans la résistance au même moment que la compression du sol et la cohésion de la maçonnerie.

Il est nécessaire de rechercher isolément la valeur de chacun de ces trois éléments de résistance et de voir quel rôle ils auront à jouer avant qu'une déformation se produise. Il est évident que si la résistance du sol et celle de la cohésion suffisent pour empêcher la maçonnerie de s'ouvrir la pesanteur n'aura pas lieu d'intervenir.

Application à la cuve n° 13 de l'usine de La Villette. — Les dimensions de la cuve n° 13 et les données se rapportant à cette cuve sont les suivantes :

$$H = 12^{m},70$$
$$D = 56^{m}$$
$$D' = 58^{m},76$$
$$E = 1^{m},38$$
$$C = 10{,}000 \text{ kilog.}$$
$$K = 150{,}000 \text{ kilog.}$$
$$P = 2{,}200 \text{ kilog.}$$

L'application de la formule précédente donne :

$$19114000 < 47387000 + 1559666 + 33609610 < 82556276.$$

Les éléments de résistance sont donc quatre fois plus considérables qu'il n'est nécessaire.

3° CIMENTS ET ENDUITS.

L'épaisseur du mur circulaire en maçonnerie de ciment de Portland à prise lente, qui constitue les parois verticales de la cuve ou citerne du gazomètre n° 13 de l'usine de La Villette, a été fixée à 1m,38; on a indiqué les motifs dans le chapitre précédent. Cette condition de solidité remplie, la cuve doit satisfaire à une seconde condition non moins importante : elle doit être parfaitement étanche. — L'enduit dont elle est revêtue à l'intérieur assure cette étanchéité.

On exécute cet enduit en mortier de ciment de Vassy à prise rapide dans la proportion de 1 de sable pour 1 de ciment en volume; il est appliqué sur l'intrados du gros œuvre de la cuve et lissé à sa surface.

L'étanchéité de la cuve dépend presque exclusivement de la bonne confection de l'enduit. La maçonnerie contre laquelle il est appliqué ne suffirait pas en effet, à elle seule, pour retenir les eaux. Les moellons ne sont pas assez réguliers ni les vides comblés d'une façon assez parfaite par le mortier Portland, pour que la citerne puisse être étanche sans le secours de l'enduit.

Il est intéressant de faire connaître les procédés employés :

1° Pour la constatation de la bonne qualité des ciments;

2° Pour la confection de l'enduit.

1° Ciments.

CIMENTS A PRISE LENTE

La composition chimique du ciment de Portland, fabriqué à Pouilly en Bourgogne, considéré comme type des ciments à prise lente, est la suivante, indiquée par MM. Rivot et Chatoney dans leur mémoire sur les ciments :

Silice	23, 00	93, 00
Alumine	9, 00	
Chaux	61, 00	
Sable	1, 00	7, 00
Oxyde de fer	5, 00	
Eau et acide carbonique	1, 00	
Magnésie	Traces.	
Total		100, 00

Dans le chiffre de 61 pour 100 de chaux, il entre 2 pour 100 environ de chaux libre, proportion qu'il convient de ne pas dépasser, parce que la chaux se dissolvant dans l'eau peu à peu, il en résulterait la formation de pores ou cavités dans le ciment, ce qui diminuerait son imperméabilité.

Le meilleur ciment serait même celui dans lequel toute la chaux serait combinée à l'argile. Ce produit serait d'une lenteur de prise extrême, et il n'en serait que meilleur. Mais, jusqu'ici, aucun fabricant n'est encore arrivé à ce degré de perfection.

Caractères et propriétés du ciment de Portland de Pouilly. — Le ciment de Pouilly fait et doit faire prise très-lentement, sous l'action incessante de l'humidité. Le maximum de ténacité est obtenu par celui qui s'est durci complétement sous l'eau après six à huit mois d'emploi.

Voici quelques exemples qui démontrent l'influence de l'âge du mortier sur la résistance qu'il acquiert avec le temps.

Une briquette de ciment pur, présentant une surface de rupture de 16 centimètres carrés (section horizontale d'un prisme de 4 centimètres de côté), faite depuis six semaines et maintenue sous l'eau pendant tout ce temps, s'est rompue à la traction sous une charge de 200 kilogrammes, ce qui faisait 12 kilogrammes par centimètre carré.

Une autre briquette semblable, faite depuis huit mois et maintenue également sous l'eau, s'est rompue sous une charge de 500 kilogrammes, ce qui faisait 31 kilogrammes par centimètre carré.

En ce qui regarde la question d'humidité, on doit citer les résultats d'observation suivants :

Les mortiers de ciment durcissent notablement plus vite au soleil et à l'air libre que sous l'action de l'humidité. Ainsi, les enduits de l'intrados des cuves des gazomètres sont déjà très-durs lorsque ceux de l'intérieur de la maçonnerie sont encore dépourvus de cohésion et même se cassent facilement à la main. Cela tient à ce que ces derniers ne sont pas exposés au contact de l'air et qu'ils se trouvent sous l'action de l'humidité. Mais la rapidité de la prise a toujours lieu au détriment de la ténacité du produit définitif et aussi de son imperméabilité. C'est une des raisons pour lesquelles on soustrait avec grand soin à l'action du soleil, et l'on arrose constamment, les surfaces intérieures des cuves, jusqu'au moment où elles doivent recevoir les enduits.

Le degré de pulvérisation des ciments est encore pour quelque chose dans la rapidité de la prise.

Les mortiers en ciment de Portland, qui contiennent beaucoup de chaux libre, prennent relativement plus vite que ceux qui en contiennent moins. Mais ils sont moins tenaces et surtout beaucoup plus poreux et perméables.

Poids des ciments de Portland. — Le poids du ciment de Portland varie

proportionnellement au degré de cuisson qu'il a subi pendant la fabrication : plus la chaleur a été grande, plus la combinaison a été parfaite et plus le ciment est lourd. Un ciment lourd rend la prise du mortier plus longue, mais en augmente la dureté définitive. C'est donc aux ciments les plus lourds que l'on donne la préférence, toutes choses égales d'ailleurs.

Le poids du mètre cube des meilleurs ciments en poudre varie entre 1,350 et 1,550 kilogrammes; il peut atteindre même 1,600 kilogrammes.

Confection des mortiers de ciment de Portland. — Voici maintenant les précautions qui sont employées dans la confection des mortiers et dans leur emploi :

On est arrivé à adopter la proportion de 3 de sable fin pour 1 de ciment de Portland.

On gâche le mortier avec un excès d'eau, puis on laisse le mortier sur une aire, avant son emploi, pendant un temps qui varie entre une heure et quatre heures, suivant l'âge du ciment employé. Sur cette aire, il rejette son excès d'eau, à laquelle on a soin de ménager un écoulement. Le mortier prend peu à peu de la consistance, et quand il est devenu pâteux, il convient de l'employer.

Cette condition est essentielle pour obtenir une maçonnerie bien liée et se rapprochant autant que possible du monolithe. Dans certaines constructions où le mortier avait été employé trop frais et, par suite, trop mou, il n'a point résisté à la pression du moellon posé dessus et les joints se sont trouvés dégarnis.

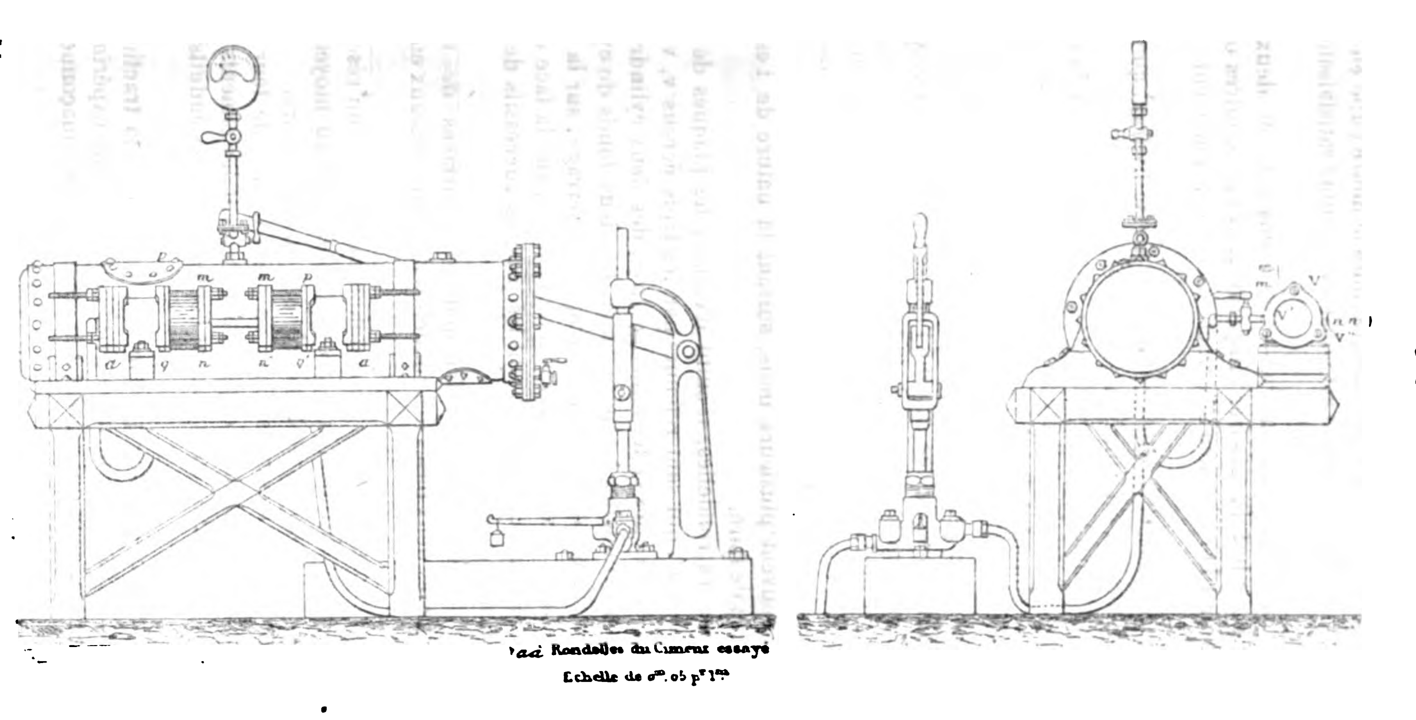
Enfin tous les moellons sont lavés immédiatement avant l'emploi.

CIMENTS A PRISE RAPIDE, DU DISTRICT DE VASSY (BOURGOGNE)

La composition chimique du ciment de Vassy, considéré comme type de ciment à prise rapide, est la suivante :

Argile.	32, 00	Silice.	21, 00
		Alumine.	11, 00
Chaux.			68, 00
		Total.	100, 00

Il n'y a dans ce dernier chiffre aucun atome de chaux à l'état libre, comme cela avait lieu dans le ciment de Portland, à cause de la basse température à laquelle se fait la cuisson des calcaires.



a a' Rondelles du Ciment essayé

Echelle de $0^m.05$ p.r 1^m

Ce ciment pèse de 800 à 1,200 kilogrammes le mètre cube en poudre. Le poids de 1,000 kilogrammes est considéré comme satisfaisant.

Essais pour la réception des ciments. — Ces essais sont de deux sortes. Les uns ont pour but de mesurer l'imperméabilité; les autres ont pour objet de mesurer la résistance à la traction ou à l'arrachement.

Essais à la perméabilité. — On emploie une presse hydraulique à deux cylindres en fonte qui est représentée ci-après.

On peut expérimenter deux rondelles de ciment *a*, *a'* à la fois. Ces rondelles sont fabriquées soit avec du mortier de ciment pur, soit avec du mortier de ciment et de sable gâché dans des proportions déterminées. On leur donne la forme cylindrique dans des moules qui consistent tout simplement en petits cylindres en zinc ouverts aux deux bouts et ayant des hauteurs variables suivant l'épaisseur que doivent avoir les rondelles. Cette épaisseur varie généralement entre $0^m,02$ et $0^m,10$, elle correspond aux épaisseurs des enduits verticaux de la partie supérieure et de la base des cuves des gazomètres. Les rondelles sont mises préalablement dans du sable humide, où elles séjournent un temps plus ou moins long, souvent plusieurs mois, suivant la nature de l'essai que l'on se propose de faire.

Pour essayer les rondelles, il suffit d'enlever les plaques de serrage annulaires *mn*, *m'n'*, qui sont retenues par les trois écrous v, v', v'', et d'interposer, entre elles et les fonds *pq*, *p'q'*, des deux cylindres dela presse, les deux rondelles à expérimenter. Ces deux fonds de cylindres sont évidés, de même que le sont les plaques de serrage : sur la face interne des rondelles s'exerce la pression de l'eau, et, sur la face externe, ainsi que sur leur tranche, s'observent les progrès successifs de l'imbibition et du suintement de l'eau.

On a soin, pour assurer l'étanchéité des surfaces de serrage, d'appliquer sur les deux bases des rondelles de petits anneaux en caoutchouc.

Les deux cylindres sont mis en communication avec un réservoir à eau dans lequel on entretient une pression constante au moyen d'une petite pompe. Cette pression est accusée par un manomètre.

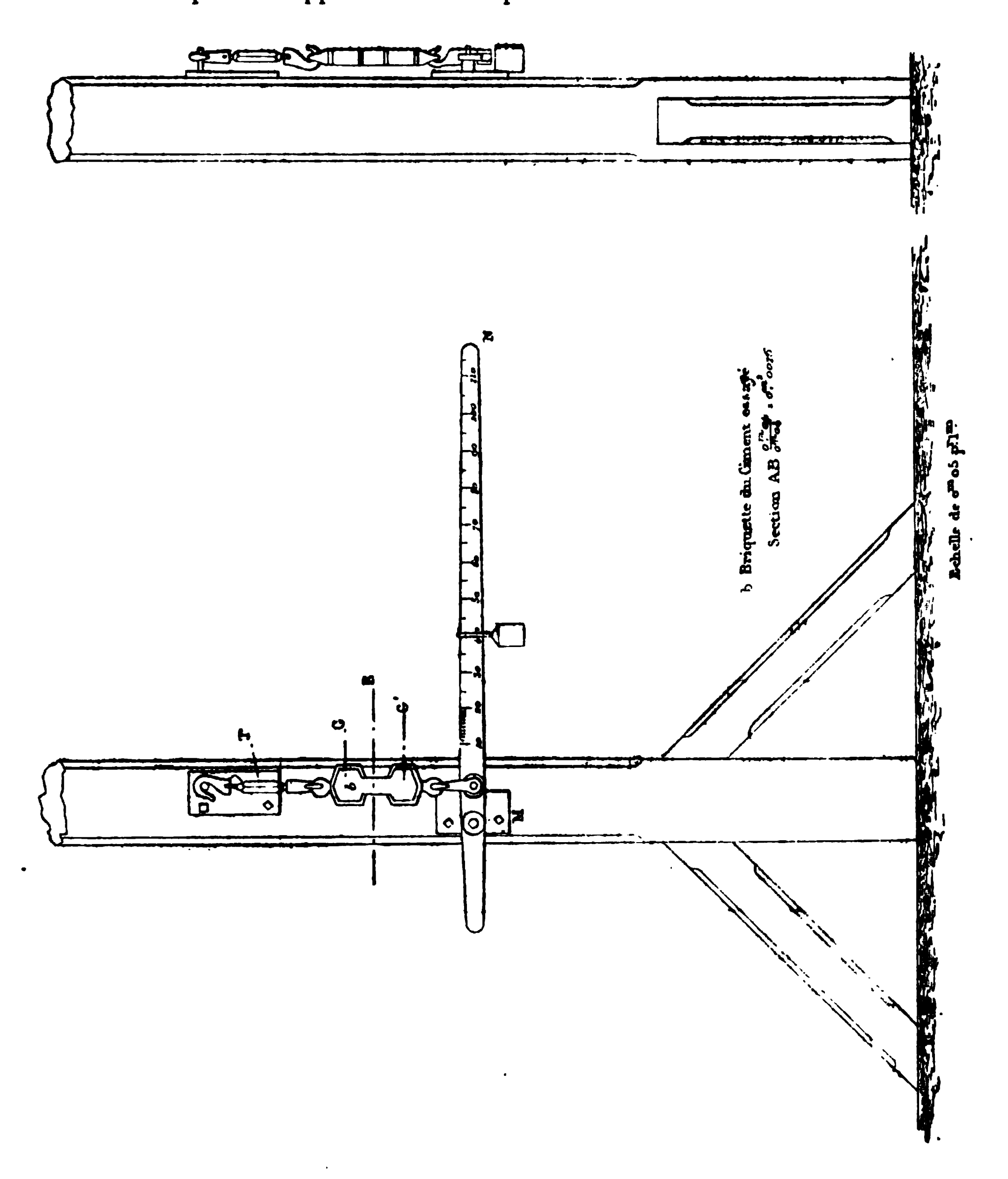
Les ciments qui sont essayés ainsi, au point de vue de leur imperméabilité, sont principalement et plus spécialement les ciments à prise rapide, puisque c'est avec eux que sont confectionnés les enduits.

Essais à la traction. — En ce qui concerne les essais à la traction ou à l'arrachement, ce sont les ciments à prise lente qui sont expérimentés; en d'autres termes, ceux qui servent à la confection des maçonneries de gros œuvre.

Il est évident que la forme et les dimensions du corps confectionné

pour les essais et soumis à un effort de traction présentent de l'intérêt à cause de l'influence qu'elles peuvent exercer sur la résistance. Toutefois, on a cru devoir adopter les dispositions consacrées afin de rendre comparables les résultats observés.

On emploie un appareil à levier représenté ci-dessous :



On donne aux briquettes *b* une section horizontale de 0m,04 sur 0m,04,

soit 16 centimètres carrés; elles présentent à leurs extrémités deux parties renflées qui leur permettent d'être saisies par les griffes en fer G et G'.

La manœuvre de l'appareil, qui est d'ailleurs celui toujours employé pour de pareils ciments, se comprend d'elle-même à l'inspection du dessin. On fera seulement observer la présence d'un tendeur à filets de vis inverses, T, qui permet de maintenir l'horizontalité de la barre graduée M N qui sert de levier.

Résultats généraux des essais. — Voici maintenant les résultats généraux que les ciments ont donnés à la suite de ces essais ainsi définis.

Fabrication des mortiers. — Les ciments à prise rapide en poudre sont mélangés par parties égales en volume avec du sable de rivière tamisé. On indiquera plus loin les motifs qui ont fait adopter cette proportion.

La quantité d'eau employée pour gâcher le mortier est variable suivant la densité du ciment.

Ainsi, voici les proportions qui ont été reconnues les plus convenables pour les ciments suivants :

Ciment de Tenay (Ain) dont le mètre cube en poudre pèse	1150 kil.
Ciment de Vassy (marque X)...............	900
Ciment de Vassy (marque Y)...............	860

DÉSIGNATION.		CIMENT DE TENAY	CIMENT DE VASSY	
			MARQUE X.	MARQUE Y.
En volume	Ciment.....	13 parties	13 parties.	13 parties.
	Sable......	13 —	13 —	13 —
	Eau.......	11,25 —	9,25 —	9 —
Le 1er fait prise en.....		15 minutes (*)		
Le 2e —		....	1 heure.	
Le 3e —		....	....	30 minutes.

(*) C'est un ciment très-vif et, par suite, d'un emploi très-difficile dans la construction d'un gazomètre, où il faut forcément transporter le mortier à une certaine distance.

On s'est servi pour comparer entre eux ces divers ciments, au point de vue du temps qu'ils mettent à durcir, d'un clou pointu pesant dix-sept grammes. — Le moment du durcissement est ainsi défini : celui où le mortier peut supporter le poids du clou sans en garder l'empreinte.

Les rondelles de ciment pur s'échauffent pendant la prise. On peut à peine y tenir la main pendant trois quarts d'heure environ, surtout pour

les ciments puissants comme celui de Tenay. Quand le ciment est mélangé avec du sable, les rondelles s'échauffent beaucoup moins.

On a déjà indiqué, page 652, le mode de confection des mortiers de ciment à prise lente; la proportion de trois parties de sable pour une partie de ciment en poudre a été consacrée par l'expérience. On expliquera plus loin comment on y a été amené.

Influence du milieu humide dans lequel se fait la prise des mortiers.— On a déjà fait ressortir, page 652, les avantages que l'on réalise en exposant les mortiers de Portland pendant tout le temps de leur durcissement complet, qui est fort long (six à huit mois), à l'action de l'humidité.

Il en est de même des mortiers de ciment à prise rapide, qui, bien que faisant corps, pour la plupart, en moins d'une heure, n'en ont pas moins, eux aussi, un temps de durcissement très-prolongé. L'action moléculaire dure de deux à trois mois, ainsi que des expériences relatives à la perméabilité et à la ténacité l'ont démontré, et c'est au contact de l'eau qu'elle agit de la façon la plus favorable.

Voici des chiffres à l'appui.

1° *Au point de vue de l'imperméabilité.* — Des rondelles de mortier composé de 1 p de ciment pour 1 p de sable, ayant 0m,04 d'épaisseur, expérimentées à la presse hydraulique, appareil décrit page 653, ont donné les résultats suivants :

TEMPS ÉCOULÉ entre la confection des rondelles et le moment de l'expérience.	TEMPS DU SÉJOUR des rondelles dans le sable mouillé.	PRESSION.	CIMENT DE				OBSERVATIONS.
			TENAY.		VASSY (MARQUE X).		
			DURÉE DE L'ESSAI DES RONDELLES ayant fait prise		DURÉE DE L'ESSAI DES RONDELLES ayant fait prise		
			à l'air.	au contact de l'eau.	à l'air.	au contact de l'eau.	
87 jours.	»	1 atm. $^1/_2$	6h 30m	»	»	»	La rondelle est tout à fait traversée par l'eau de la presse.
83 jours.	35 jours.	2 atm. $^1/_2$	»	8 jours.	»	»	Rondelle non traversée. — Quelques suintements sont seulement observés sur la tranche ; ils disparaissent bientôt.
94 jours.	35 jours.	2 atm.	»	3 jours.	»	»	L'eau a suinté, dès le début de l'essai, sur la tranche, puis le suintement s'arrête.
39 jours.	»	3 atm.	»	»	3 jours.	»	La rondelle n'est pas traversée, mais des suintements se manifestent sur la tranche.
62 jours.	37 jours.	3 atm.	»	»	»	10 jours.	La rondelle n'est pas du tout traversée.

Coupe de la rondelle suivant le diamètre.

OBSERVATION GÉNÉRALE.

Les rondelles ont subi la pression sur leur face non lissée. Celles qui n'ont pas été traversées ont été cassées après l'expérience. On a constaté que leur intérieur était mouillé et que l'humidité s'arrêtait à l'extrémité lissée. (*Voir le croquis ci-contre.*)

Les mortiers à prise lente suivent la même loi.

Ainsi :

Une rondelle de mortier de ciment de Portland 2 pour 1, ayant 0m,06 d'épaisseur fabriquée depuis 41 jours et étant restée exposée à l'air, a été traversée en 5 heures de temps, sous la pression de 1 atm. 3.

Une rondelle semblable, fabriquée depuis 46 jours, et ayant été conservée sous le sable humide, a été traversée sous la même pression en 11 heures.

Le tableau précédent montre d'une façon bien nette que les rondelles qui ont séjourné dans le sable mouillé sont notablement moins perméables que celles qui sont restées à l'air libre.

On doit dire, toutefois, que, dans la pratique, la perméabilité des mortiers qui ont fait prise à l'air diminue à la longue. Ainsi, les cuves de gazomètres, dont les enduits ont fait prise à l'air, commencent presque toutes par perdre l'eau; — mais peu à peu la perte diminue et, le plus souvent, elle s'arrête au bout d'un certain temps.

L'expérience suivante a été exécutée sur des rondelles ayant fait prise à l'air, qui avaient préalablement subi l'action de la presse et qui s'y étaient imbibées d'eau.

Ces rondelles, en mortier de ciment de Portland 2 pour 1, avaient 0m,06 d'épaisseur, et elles avaient été mises sous pression 40 jours après leur confection. Elles avaient été complétement traversées par l'eau au bout de 10 heures : on les a ensuite laissées exposées à l'air libre pendant 19 jours, et on les a de nouveau essayées à la presse. Cette fois, il s'est écoulé 44 heures avant qu'elles fussent traversées par l'eau.

Souvent des rondelles qui se sont laissé traverser, même en peu de temps, et qui, au premier abord, paraissent laisser beaucoup à désirer, cessent de fuir à la longue, même en demeurant sous pression. — Ainsi une rondelle de 0m,06 d'épaisseur, en mortier de ciment de Vassy (marque Y) 1 pour 1, restée pendant 10 jours dans le sable humide, exposée ensuite à l'ombre pendant 48 heures, a été soumise à la pression de 1 atmosphère 1/2. — Elle a été traversée au bout de 5 heures. — Mais, au bout de quelques jours, les suintements se sont tout à fait arrêtés.

2° *Au point de vue de la ténacité*, les mortiers gagnent également à faire prise au contact de l'eau.

Ainsi, une briquette de ciment de Tenay pur qui avait été maintenue pendant 85 jours dans du sable mouillé, a été arrachée, dans l'appareil à levier précédemment décrit, sous la pression de 10 kilogrammes par centimètre carré. Une briquette semblable, qui avait fait prise à l'air, a été arrachée sous la pression de 8 kilogrammes 1/2 par centimètre carré.

Les ciments à prise lente donnent des résultats qui concordent avec les précédents.

Influence de l'âge des mortiers sur leur imperméabilité et sur leur ténacité. — Le durcissement des mortiers est très-lent, comme il a été dit précédemment. On a constaté que c'est après 6 à 8 mois de confection que les ciments à prise lente présentent leur maximum d'imperméabilité, et ceux à prise rapide, après 2 à 3 mois.

Il en est de même de leur résistance à l'arrachement. On l'a déjà indiqué page 652.

Voici encore quelques chiffres à l'appui :

Deux briquettes de mortier de ciment de Pouilly ont donné les résultats suivants :

MODE DE CONFECTION DU MORTIER.	AGE de la BRIQUETTE.	PRESSION par CENTIM. CARRÉ sous laquelle a lieu la rupture.	OBSERVATIONS.
Une partie de sable pour une partie de ciment.	90 jours.	16 kilog.	Cette briquette avait fait prise sous l'eau.
	2 ans.	30 kilog.	Cette briquette avait été séchée à l'air. — Il est très-probable que si elle était restée exposée à l'humidité elle eût résisté davantage encore.

Influence de la densité des ciments. — La densité des ciments a une influence capitale sur la bonne qualité des mortiers. Malheureusement, certains ciments à prise rapide, trop denses, sont trop vifs à la prise, et ils sont d'un emploi difficile lorsque les mortiers doivent être transportés à une certaine distance. — On a déjà mentionné ce fait page 656.

Voici des résultats d'expériences qui démontrent la supériorité des ciments denses, tant au point de vue de l'imperméabilité qu'à celui de la ténacité.

On a essayé à la presse trois marques différentes de ciments à prise rapide, dont on a déjà parlé page 656.

Elles ont donné les résultats suivants :

MODE DE CONFECTION des RONDELLES.	ÉPAISSEUR des RONDELLES.	DÉSIGNATION des CIMENTS EMPLOYÉS.	DENSITÉ des CIMENTS. (Poids du mètre cube en poudre.)	TEMPS au bout duquel les rondelles sont traversées par l'eau sous une pression exercée pendant 36 heures. de 1 atmosph.	de 2 atm. $^1/_2$.	OBSERVATIONS.
Ciment pur : Les rondelles sont restées pendant 10 jours dans le sable mouillé ; puis elles ont été séchées à l'ombre pendant 48 h.	0m,06	TENAY.......	1150 kilog.	»	»	Ciment gras d'aspect, se lisse facilement.
		VASSY (marque X)	900 —	»	8 heures.	Prend une couleur rouille caractéristique après la prise. Excellent ciment, d'un emploi facile.
		VASSY (marque Y)	850 —	5 heures.	5 heures.	Bien que la rondelle ait été traversée, le suintement s'est arrêté à la fin de l'expérience.

Il résulte des expériences qui précèdent que ces ciments se rangent, au point de vue de leur imperméabilité, par ordre de *densité.*

Cet ordre est aussi généralement celui de leurs *ténacités.* Voici une expérience fort simple qui le démontre.

MODE DE CONFECTION DES RONDELLES.	PRESSION.	DÉSIGNATION des CIMENTS EMPLOYÉS.	TEMPS au bout duquel les rondelles ont été enfoncées et rompues par la pression de l'eau.	OBSERVATIONS.
Ciment pur : Rondelles minces de 0m,03 d'épaisseur.	2 atmosph.	TENAY........	2 heures.	
		VASSY (marque X)	1 heure.	
		VASSY (marque Y)	5 minutes.	

On a reconnu les mêmes qualités, résultant de la densité, aux ciments à prise lente.

Influence du lissage des enduits sur leur imperméabilité. — Les enduits en mortier de ciment sont lissés à la surface. Cette opération contribue d'une façon incontestable à les rendre plus étanches. — Les résultats d'expériences consignés dans le tableau de la page 658, à la suite desquels on a indiqué la coupe des rondelles, démontrent que *l'humidité de celles-ci s'est arrêtée à la partie lissée.*

Les essais comparatifs suivants confirment ces résultats pour les ciments à prise rapide comme pour ceux à prise lente. Ainsi :

MODE DE CONFECTION des RONDELLES.	MILIEU dans lequel les rondelles ont été maintenues.	AGE des RONDELLES.	ÉPAISSEUR des RONDELLES.	PRESSION.	DÉSIGNATION des CIMENTS EMPLOYÉS.		TEMPS au bout duquel l'eau a commencé à traverser les rondelles.	TEMPS au bout duquel les rondelles ont été traversées complètement.
Une partie de sable pour une de ciment...... (Une seule face lissée.)	Dans le sable mouillé.	3 mois.	0m,06	1 atmos. 8.	VASSY (marque Y). (Ciment à prise rapide.)	Face non lissée tournée du côté de la pression.	4 jours.	8 jours.
						Face lissée tournée du côté de la pression.	6 jours.	12 jours.
Deux parties de sable pour une de ciment...... (Une seule face lissée.)	A l'air libre.	85 jours.	0m,03	2 atmosphères.	POUILLY. (Ciment à prise lente.)	Face non lissée tournée du côté de la pression.	non observé.	7 heures.
						Face lissée tournée du côté de la pression.	—	26 heures.
Deux parties de sable pour une de ciment...... (Une seule face lissée.)	A l'air libre.	40 jours.	0m,06	2 atmosphères.	POUILLY. (Ciment à prise lente.)	Face non lissée tournée du côté de la pression.	—	5 heures.
						Face lissée tournée du côté de la pression.	—	37 heures.

Proportions de sable les plus convenables à employer dans la confection des mortiers. — On est arrivé par expérience à composer le mortier de ciment à prise rapide avec 1 p de sable pour 1 p de ciment en poudre en volume. C'est ce mélange qui produit le mortier le plus résistant. Le ciment pur présente une ténacité un peu moins grande.

On a expérimenté un grand nombre de briquettes de mortier 1 pour 1, et de ciment pur; on a trouvé les mêmes résultats.

En voici la moyenne :

Briquettes en ciment pur (Tenay)	(résistance par cent. carré)	10 kil.
— en mortier 1 p. 1	—	14

Les briquettes avaient 85 jours de date; elles avaient été maintenues dans le sable humide.

Quand on augmente la quantité de sable, il est évident qu'on obtient un produit de moins en moins résistant. La ténacité diminue rapidement au fur et à mesure que la proportion de sable s'accroît. (*Voir le tableau suivant.*)

DÉSIGNATION du CIMENT EMPLOYÉ.	AGE des BRIQUETTES.	PROPORTION de SABLE EMPLOYÉE.	CHARGE sous laquelle a eu lieu la rupture des briquettes (par centim. carré).	OBSERVATIONS.
POUILLY. (Ciment à prise lente)	2 ans.	Deux parties de sable pour une de ciment.	19 kilog.	
		Une partie de sable pour une de ciment.	30 kilog.	

On a adopté le mélange de 3 de sable pour 1 de Portland en poudre pour les mortiers qui entrent dans la maçonnerie du gros œuvre des cuves des gazomètres. Leur ténacité est suffisante. Elle est de 10 à 12 kilogrammes par centimètre carré.

Pour les mortiers de ciment à prise rapide au contraire, dont on emploie de bien moins fortes quantités, puisque l'on ne s'en sert que pour les enduits, on a pu sans inconvénient se placer dans les conditions les meilleures, en adoptant la proportion de 1 de sable pour 1 de ciment en poudre. D'ailleurs l'enduit est la partie la plus délicate de l'ouvrage et de laquelle dépend, principalement, le succès de l'exécution.

2° Enduits.

Confection des enduits dans l'intérieur des cuves des gazomètres. — L'épaisseur des enduits est variable avec la pression de l'eau et distribuée ainsi : 0m,08 à la base de l'ouvrage, pour les grands gazomètres qui contiennent

jusqu'à 13 mètres de profondeur d'eau, et $0^m,03$ à la partie supérieure, au niveau de la margelle.

Le fond de la cuve, ainsi que l'indiquent les dessins des gazomètres, est maçonné comme le pourtour. Cette maçonnerie est hourdée de la même façon que le reste du gros œuvre. C'est ce qui constitue le *radier*. Il est destiné à supporter l'enduit du fond de la citerne. Seulement les assises supérieures ne sont pas horizontales. On croise les joints, en créant à la surface du radier ce que l'on appelle un *hérisson;* les moellons sont posés de champ, de manière que les joints soient verticaux.

Lorsque le bas de la fouille du gazomètre renferme des sources, et lorsque l'on ne peut pas les aveugler toutes, on en réunit les eaux dans un puisard, et on les épuise avec une pompe pendant tout le temps de la construction. C'est ce qui a eu lieu pour le grand gazomètre de l'usine des Ternes et pour celui de l'usine de Passy.

Il est très-important de maintenir constamment le niveau des eaux au-dessous de l'arasement supérieur du radier; sans cela elles feraient souffler les enduits, en exerçant sur ceux-ci une sous-pression, souvent considérable, à travers le gros œuvre.

Le puisard dont il s'agit est maçonné et enduit à son pourtour; cet enduit est relié à celui du radier avec lequel il fait corps. — Un tuyau en fonte est plongé dans le puisard, et du béton est coulé tout autour, de façon que l'eau des sources ne puisse avoir d'issue que par l'intérieur de ce tuyau. — Sa partie supérieure est terminée par une surface dressée sur laquelle est appliquée, au moment du remplissage, une soupape à clapet. Cette soupape est destinée à isoler complétement le sous-sol des eaux de la cuve. — Lorsque l'opération du remplissage s'exécute, les eaux du puisard s'épanchent d'abord dans la citerne; mais dès que la hauteur d'eau est arrivée, dans celle-ci, à équilibrer la pression des sources, la soupape se ferme. Le remplissage de la cuve se continue dès lors à l'aide des seules ressources de l'eau extérieure, et il y a isolement complet entre le sous-sol et l'intérieur de la citerne. Si les enduits sont étanches et la soupape bien dressée sur son siége, la citerne ne doit pas perdre; cette opération a bien réussi aux usines des Ternes et de Passy.

Le mortier est projeté par les ouvriers cimentiers sur le gros œuvre. Son adhérence est obtenue tant par les harpes que présente l'intérieur de la maçonnerie, que par la façon particulière dont les ouvriers s'y prennent pour l'y jeter.

L'enduit est exécuté par couronnes circulaires successives sur le radier, et par reprises cylindriques sur le cylindre. Ces reprises ont $1^m,50$ de hauteur. La jonction entre le cylindre et le radier présente une gorge en partie renflée.

Soudures des enduits dans les reprises. — Les soudures dans les reprises se font de la façon suivante :

La partie supérieure de la reprise est taillée en biseau suivant un plan incliné du dehors vers le dedans.

La surface ainsi préparée est brossée avec soin, afin d'enlever les poussières qui se présenteraient comme des corps étrangers entre les deux reprises de l'enduit et qui nuiraient à leur bonne soudure; on la lave ensuite et on jette le mortier pour commencer la reprise suivante.

Épaisseur des enduits. — L'enduit, a-t-on dit, doit présenter 0m,08 d'épaisseur à la base de la cuve et 0m,03 à la partie supérieure. Pour éviter de donner de l'inclinaison à la surface cylindrique de la cuve, on monte le gros œuvre en surplomb de toute la différence entre les épaisseurs.

Lissage des enduits. — Au fur et à mesure que l'enduit est exécuté, les ouvriers opèrent le lissage de sa surface.

Si les reprises sont bien faites, les enduits ne doivent pas laisser passer l'eau.

Il y a encore toutefois d'autres points faibles de la maçonnerie, sur lesquels il est utile d'appeler l'attention.

Scellements des guides dans la cuve, après l'achèvement de la maçonnerie. — Des fuites peuvent avoir lieu par les scellements des guides dans la cuve. Afin d'éviter autant que possible des accidents de ce genre, les scellements sont exécutés en éclats de meulière et en mortier de ciment de Vassy 1 pour 1. Toute la ligne des guides est d'abord appliquée verticalement d'une seule pièce dans sa position définitive, à la suite d'une division préalable qui a été faite de la circonférence, en autant de parties égales, qu'il y a de guides. Tous ceux-ci sont posés et scellés avant la confection des enduits.

Les cavités ménagées dans la maçonnerie de la cuve pour recevoir les scellements sont remplies avec les éclats de meulière et le mortier, de telle sorte que l'on forme un monolithe dans lequel le support du guide se trouve noyé. Il n'y a donc plus de fuite possible, ce qui est important à réaliser, car l'enduit se raccorde mal avec le fer; et d'ailleurs ce raccordement aurait-il lieu d'une façon convenable au début, qu'il y aurait toujours à craindre le décollement par suite des vibrations du guide pendant la course de la cloche.

Les fuites, dans d'autres parties, sont naturellement évitées, puisque l'enduit vient recouvrir le tout, avec la précaution essentielle qu'aucune reprise de celui-ci ne corresponde avec les bords de la cavité remplie.

Enfin, les pierres de taille appelées *dés*, qui sont disposées sur le radier pour supporter les échafaudages intérieurs et les guides, constituent encore des points faibles à l'égard des fuites. Mais ici, également, des soins particuliers sont apportés dans le bon raccordement des enduits avec les faces verticales de ces dés.

4° CLOCHE SIMPLE OU TÉLESCOPIQUE ET GALETS.

Cloche d'un gazomètre ordinaire.

La cloche d'un gazomètre ordinaire est formée d'un cylindre fermé à sa partie supérieure par un segment sphérique ou calotte.

Calotte d'une cloche de gazomètre. — La forme de cette dernière partie est utile à l'écoulement de l'eau qui tombe sur la cloche, mais elle est surtout indispensable pour diminuer la force d'arrachement sur la couture qui assemble le dernier rang de tôle de la calotte avec la cornière.

Si l'on songe que cette couture doit transmettre au cylindre une partie de la pression qui a lieu sous la calotte dans une direction capable de donner naissance à une composante verticale égale au poids du cylindre, on reconnaît que ces tôles, relativement flexibles, doivent avoir la plus grande inclinaison possible.

On comprend facilement aussi l'intérêt qu'il y a à donner au premier rang de tôle de la calotte une épaisseur plus grande qu'à tout le reste, et à la couture avec la cornière des conditions de solidité exceptionnelles. Elle est faite avec deux rangs de rivets de fort diamètre rivés à chaud.

Cette condition de la rivure à chaud est uniquement la conséquence de la grosseur des rivets, qui se prêterait difficilement à un rivage à froid; elle n'est pas une condition de bonne exécution; au contraire. Le rivet posé chaud se refroidit vite dans toute sa partie qui est en contact avec la tôle; la portion qui dépasse et qui devra former la rivure se maintient relativement plus chaude; elle est même réchauffée par le martelage, et c'est elle qui supporte toute l'action mécanique du battage. Elle s'étend sous le marteau et le corps du rivet résiste. Aussi arrive-t-il que le rivet posé à chaud ne remplit pas facilement le vide de la tôle, tandis que le rivet posé à froid s'y refoule et y produit une clôture plus hermétique.

Cylindre. — Le premier rang des tôles du cylindre est aussi d'une épaisseur plus grande que les rangs qui suivent, tant pour fournir une attache convenable avec la cornière que pour assurer une base solide à l'application des galets.

Les mêmes raisons conduisent à la même conclusion pour le rang in-

férieur, et elle est d'autant plus motivée, que cette partie de la cloche ne peut pas être peinte pendant toute la durée du gazomètre, puisqu'elle reste toujours immergée.

La base de la cloche a en outre besoin d'être consolidée par un ouvrage qui la rende indéformable. Si la cloche rencontre, sur un point de sa circonférence, un obstacle à sa marche, elle tend à continuer son mouvement dans le reste de son étendue et se déforme. Alors les galets sortent de leurs guides et la cloche prend une position oblique qui ne peut être combattue par tout ce qui l'entoure. Cette altération de la forme de la cloche ne peut être empêchée que par la résistance même de cette pièce, et c'est la raison qui conduit à consolider le bord inférieur du cylindre.

A cet effet, on lui applique à l'intérieur une poutre armée qui joue par rapport à cette partie de l'appareil le même rôle que la calotte joue par rapport à la partie supérieure.

Dans le gazomètre n° 13 de l'usine de La Villette, donné ici pour exemple, cette armature est formée de deux tôles horizontales, ayant 2 mètres de largeur et 7 millimètres d'épaisseur, réunies par une troisième tôle de 1 mètre de hauteur, formant un cylindre vertical concentrique à celui de la cloche.

Les tôles horizontales sont percées de larges ouvertures par lesquelles l'eau de la cuve entre et sort pendant le mouvement de déplacement, d'ailleurs très-lent, de la cloche.

Galets. — Les galets qui sont appliqués au sommet de la cloche sont fixés sur le cylindre et non sur la calotte. Cette position sur un corps indéformable permet d'en régler le montage pendant la construction et procure une fixité que n'offre pas la position sur la surface sphérique qui se détend et s'abaisse quand le gazomètre n'est pas en pression.

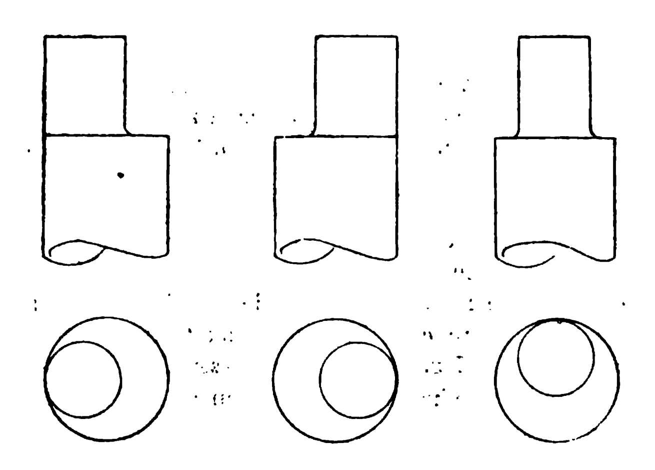
En outre, ces galets doivent être construits et attachés avec une solidité qui les rende capables de transmettre, de la cloche aux guides, les énormes efforts que celle-ci reçoit du vent. La fonte et les boulons doivent, autant que possible, être proscrits de ces ouvrages : la fonte, parce qu'elle est cassante; les boulons, parce qu'ils ne produisent pas sur la tôle mince des attaches assez solides ni assez étanches.

Le support commun à deux galets tangentiels, tel qu'il est construit dans le gazomètre n° 13, est exécuté en tôle et en cornière, et présente des dimensions qui font intervenir à la résistance une grande étendue de tôle.

Les axes des galets sont en fer forgé et ils ont un diamètre qui les rend capables de supporter la pression qui peut être à transmettre, sous l'action du vent, de la cloche aux guides. Ces axes sont formés de deux cylindres pris dans une même pièce de fer forgé; ils n'ont pas le même diamètre ni le même axe de figure, de telle sorte que l'on peut, en les

posant, varier la distance entre les galets et les guides sans être gêné par la fixité des supports.

Ceux-ci peuvent donc être fixés invariablement à l'avance sans qu'il y ait à se préoccuper de la coïncidence parfaite de leur position réelle et de celle qu'ils devraient occuper.



Les galets peuvent être démontés et leurs axes enlevés et remplacés au besoin, pendant la marche du gazomètre.

Les supports rivés sur la cloche sont seuls immobilisés.

Les conditions de résistance que doit présenter l'angle supérieur de la cloche doivent être étudiées tout spécialement.

Angle du cylindre et du fond sphérique. — La cornière en fer laminé, qui réunit la tôle du cylindre avec la calotte sphérique formant le fond supérieur de la cloche, doit satisfaire à des conditions de résistance qu'il est utile d'analyser pour déterminer les dimensions qu'il convient de donner en ce point à la cornière, à la tôle et aux rivets.

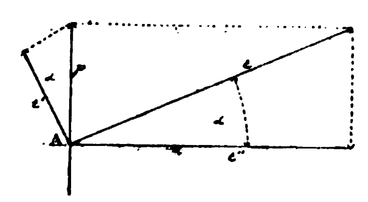
Si l'on considère l'état d'équilibre de la cloche pendant qu'elle est soulevée par la pression du gaz qu'elle contient, en projetant toutes les forces sur un axe vertical, on reconnaît tout d'abord que le poids P de la cloche entière est égal à la somme des pressions du gaz sur la cloche, projetées sur cet axe; laquelle est bien évidemment égale aussi à la pression du gaz par mètre carré multipliée par la section droite du cylindre, quelles que soient la forme et la flèche de la calotte.

D'ailleurs le poids P total est égal à la somme du poids $P' + P''$ de la calotte et du cylindre.

Le poids P' de la calotte est supporté directement par une fraction de la pression totale, et le surplus de cette pression est employé à supporter le poids P'' du cylindre. Par conséquent la cornière, qui forme l'angle

de réunion de ces deux parties, n'aura à transmettre, de la calotte au cylindre, que les efforts nécessaires pour donner naissance à une composante verticale égale à ce poids. Il faut donc soumettre la liaison de ces deux parties à un examen basé sur les conditions de résistance qu'elles doivent présenter.

Quant à celles qui intéressent le cylindre, il n'y a pas lieu ordinairement de s'en occuper, bien que les rivets y soient soumis à un effort de cisaillement. Jamais les cloches des gazomètres n'atteignent des hauteurs assez considérables, ou ne supportent à leur base des charges additionnelles assez fortes, pour que la traction du poids P″ du cylindre sur sa couture puisse offrir un motif sérieux d'attention.



Il n'en est pas de même de l'assemblage de la calotte, à cause de l'obliquité très-grande des forces développées. Soit α l'angle que fait au point A le premier élément de la calotte avec le plan horizontal; soit p la composante verticale, égale à la fraction du poids du cylindre, qui correspond à l'unité de circonférence de la cloche.

La tension t de la tôle se déduira de :

$$p = t \cos (90^\circ - \alpha),$$

d'où

$$t = \frac{p}{\sin \alpha} \qquad (1)$$

et cette valeur t exprimera en même temps la force qui tend à rompre les rivets par cisaillement.

La traction, qui s'exercera sur les rivets dans le sens de leur longueur, sera :

$$t' = p \cos \alpha. \qquad (2)$$

La composante horizontale t'' sera :

$$t'' = t \cos \alpha = \frac{p \cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{p}{\text{tang } \alpha}. \qquad (3)$$

Cette force a une projection nulle sur l'axe vertical, c'est une composante élémentaire qu'il faut totaliser pour en faire apparaître le rôle.

Les expressions de t, t' et t'' permettront de s'assurer que les dimensions données à l'ouvrage sont en proportions convenables avec les efforts à supporter.

Leurs valeurs se déduisent des dimensions de la cloche du gazomètre et de la différence de pression h, qui existe entre le gaz contenu sous la cloche et celle de l'air atmosphérique.

Le poids élémentaire p est égal au poids P'' du cylindre réparti sur la circonférence, dont le diamètre est D, soit :

$$p = \frac{P''}{\pi D}.$$

Par conséquent les équations (1), (2) et (3) deviennent :

$$t = \frac{P''}{\pi D \sin \alpha},$$

$$t' = \frac{P''}{\pi D} \cos \alpha,$$

$$t'' = \frac{P''}{\pi D \operatorname{tang} \alpha}.$$

On comprend facilement, et les formules font voir, tout l'intérêt de l'inclinaison qui correspond à l'angle α. Pour que la calotte pût être placée comme une section droite du cylindre, auquel cas l'angle α serait nul et son sinus aussi, il faudrait que

$$t = \infty.$$

Cette limite ne permet pas de réduire beaucoup l'angle α. Des exemples malheureux ont appris l'intérêt qu'il y a à donner à cet angle la plus grande valeur possible. Sur la demande de la Compagnie Parisienne, les forges de Châtillon et Commentry ont fait établir des laminoirs qui produisent une cornière de forte dimension, $0^m,130$ sur $0^m,130$, ouverte à l'angle nécessaire et pour laquelle l'angle α est, dans le cas qui nous occupe, de 14°. Avec cette cornière, on aura donc dans l'application :

$$\sin \alpha = 0,24192,$$

$$\frac{1}{\sin \alpha} = 4,13,$$

d'où

$$t = 4,13 \frac{P''}{\pi D}.$$

La composante t'' est dirigée suivant le rayon et ne fournit pas directement un enseignement utile; mais si l'on totalise ses valeurs élémentaires, on fait apparaître la compression qui s'exerce dans la section transversale du métal.

En effet, la projection de cette force sur un rayon perpendiculaire au

plan vertical contenant la section où l'écrasement tendrait à se produire, donne la relation :

$$t'' D = \frac{P'' D}{\pi D \text{ tang } \alpha} = \frac{P''}{\pi \text{ tang } \alpha}.$$

La projection sur l'autre moitié du diamètre serait égale et de signe contraire.

Application au gazomètre n° 13 de l'usine de La Villette. — Ces formules permettent de constater que les dimensions données aux pièces qui réunissent la calotte à la cloche du gazomètre n° 13 de l'usine de La Villette offrent toutes les garanties de résistance nécessaires, en effet :

Traction sur la tôle du premier rang. — Le poids P″ du cylindre est de 139974 kilogrammes, et son diamètre intérieur a 55 mètres; donc :

$$t = 4,13 \frac{139974}{3,14 \times 55} = 3347 \text{ kilog.}$$

Or, la tôle a une épaisseur de 8 millimètres, elle est assemblée à la cornière par deux rangs de douze rivets chacun; ces rivets qui ont un diamètre de $0^{m},018$, laissent entre eux, par mètre :

$$1^{m},00 - (12 \times 0^{m},018) = 0^{m},784.$$

Sa section de résistance est donc, en millimètres carrés, de :

$$8 \times 784 = 6272^{mmq},$$

et, comme chaque millimètre peut supporter impunément 7 kilogrammes, la résistance totale disponible est de :

$$6272 \times 7 = 43904 \text{ kilog.},$$

ce qui dépasse de beaucoup le besoin.

Cisaillement des rivets. — Les rivets peuvent résister à un effort de cisaillement qui est les 0,8 de l'effort capable de produire leur rupture par traction.

Le mètre de cornière est assemblé par vingt-quatre rivets chevauchés, ayant un diamètre de $0^{m},018$ et une section de $0^{mq}0002543$; la somme sera donc de $0^{mq}006103$ et la résistance totale à la traction, calculée sur la base de 7 kilogrammes par millimètre carré seulement, sera :

$$6103 \times 7 \times 0,8 = 34176.$$

Or, la traction qui s'exerce sur les rivets suivant leur axe de figure est exprimée par :

$$t' = \frac{P''}{\pi D} \cos \alpha = \frac{139974}{3,14 \times 55} \, 0,97 = 786 \text{ kilog.}$$

chiffre de beaucoup inférieur à celui de la résistance des pièces.

Écrasement de la cornière. — La pression que supporte la section contenue dans un plan vertical passant par l'axe de la cloche a été évaluée à :

$$\frac{P''}{\pi \text{ tang } \alpha}$$

et elle se répartit sur toute la section. Toutefois, il ne paraît pas convenable de faire entrer la section du cylindre dans cette résistance, et il faut évidemment se borner à ne considérer que celle de la calotte et de la cornière.

La tôle de la calotte a une section de 330000 millimètres carrés; la cornière, y compris la tôle du cylindre sur la largeur de la rivure, a une section égale à 14,560 millimètres carrés; ce qui fait un total de 344,560 millimètres carrés.

La pression totale à répartir est égale à :

$$\frac{P''}{\pi \text{ tang } \alpha} = 180,000 \text{ kilog.}$$

La pression par millimètre carré n'est donc que de :

$$\frac{180,000}{334,560} = 0^k,536.$$

La cornière seule offrirait une section presque suffisante pour supporter cette pression sans éprouver de déformation.

Cloche des gazomètres télescopiques.

Des considérations de diverses natures conduisent à l'emploi des gazomètres télescopiques : le défaut de place ou la nature défectueuse du sol qui ne permettrait pas l'exécution de cuves profondes, par exemple.

Gorge. — On sait que les anneaux qui constituent la cloche d'un gazomètre télescopique sont reliés par une gorge hydraulique qui établit entre eux la continuité. Ce joint hydraulique doit avoir une hauteur suffisante pour faire équilibre à la différence entre la pression intérieure et la pres-

sion extérieure; il doit avoir en outre un excédant de hauteur capable de parer aux défauts d'horizontalité de la gorge pendant le mouvement; enfin, il doit contenir encore une quantité d'eau correspondante aux fuites que la gorge peut présenter ou à l'évaporation que les chaudes journées d'été pourront lui imposer.

La réalisation de ces conditions ne saurait être assujettie à des règles fixes; elles varieront nécessairement avec la latitude du lieu où sera établie la construction, mais les deux premières doivent partout être observées et remplies avec une rigoureuse exactitude.

La planche 75 qui contient les figures 1, 2, 3, 4, 5 et 6, représentant les positions que peut prendre la gorge hydraulique pendant son passage au niveau d'eau de la cuve, permet d'étudier les cas divers auxquels doit satisfaire le joint hydraulique.

La figure 1 représente la gorge remplie d'eau dans toutes ses parties, ainsi qu'il peut arriver soit par la dissolution de l'air de la gorge dans l'eau de la cuve, soit par l'échappement de ce gaz par les fuites que présentent souvent ces ouvrages au début de leur service.

La figure 2 suppose la gorge élevée de toute sa hauteur au-dessus du niveau inférieur, mais celui-ci n'a pas été découvert par le fond de la gorge, et l'eau est restée dans les compartiments qui ne sont pas en contact avec l'atmosphère. C'est le phénomène qui se produit quand on sort de l'eau un vase renversé rempli de liquide.

La figure 3 considère l'état de distribution du liquide contenu dans la gorge aussitôt que le gaz a pu y pénétrer avec la pression intérieure du gazomètre.

Cet état d'équilibre donne lieu aux observations suivantes, qui établissent entre les volumes du gaz et de l'eau, contenus tous deux dans la gorge, des relations utiles à l'étude des phénomènes qu'il s'agit d'analyser.

Ainsi :

Le volume d'eau contenue dans la gorge provenant de l'état d'équilibre de la situation précédente (*) est évidemment égal à :

$$H + h. \qquad (1)$$

(On suppose toutes les sections égales et par conséquent les volumes sont proportionnels aux hauteurs.)

Le volume de gaz qui a pour somme des hauteurs $H + h'$ peut être déterminé en fonction de H et de h qui sont connus; ainsi :

$$h' = H - h''.$$

(*) *Voir* planche 75.

Les figures 2 et 3 montrent aussi que :

$$2h'' + h = H + h,$$

d'où

$$h'' = \frac{H}{2},$$

et

$$h' = H - \frac{H}{2} = \frac{H}{2}.$$

Par conséquent le volume de gaz initial :

$$H + h' = H + \frac{H}{2} = \frac{3}{2} H. \qquad (2)$$

· De cette expression on tire cette première déduction que, si la hauteur H n'est pas égale à $2h$, l'eau débordera par-dessus la gorge au moment où le gaz y pénétrera.

Dans l'état représenté figure 3, le gazomètre peut monter au-dessus de cette position, puis redescendre sans que rien ne change dans les hauteurs relatives du niveau de la gorge. Mais lorsque celle-ci s'immerge, emprisonnant le volume de gaz qu'elle contient, ce gaz donne lieu à des déplacements du liquide qu'il convient d'étudier.

La figure 4 représente la gorge suffisamment immergée pour que l'eau qui est contenue dans le compartiment en communication avec l'atmosphère affleure le haut de ce compartiment.

Dans ce cas, la hauteur h''', que le gaz occupe au-dessus de l'eau dans le compartiment moyen, se déduit de la connaissance du volume de l'eau $H + h$ (1), et on peut écrire :

$$h''' = 2H - (H + h) = H - h.$$

Mais le volume du gaz aussi contenu est de (2) :

$$\frac{3}{2} H = h''' + h^{\text{iv}},$$

donc

$$h^{\text{iv}} = \frac{3}{2} H - h''' = \frac{H}{2} + h.$$

La figure 5 suppose que la cloche a continué de descendre, que l'excès d'eau contenue dans les compartiments a débordé pour tomber dans la cuve et que la gorge est sur le point d'immerger entièrement.

Dans cette situation, le volume de gaz est soumis dans les deux compartiments à une même pression; les deux hauteurs h^{v} et h^{vi} sont égales entre elles et puisque leur somme est connue, on peut écrire :

$$h^{\text{v}} + h^{\text{vi}} = H + h' = \frac{3}{2} H,$$

et par conséquent $h^{v} = h^{vi} = \frac{3}{4}$ H.

Cette relation des deux niveaux intérieurs se maintiendra tant que la gorge descendra, et le volume absolu seul changera sous la compression au fur et à mesure de l'immersion, pour retrouver son volume primitif en revenant à la position qui vient d'être considérée.

A partir de ce point et en supposant que l'ascension recommence pour accomplir une seconde course, la gorge n'emportera plus qu'un volume d'eau moindre que le volume primitif et seulement égal à :

$$\frac{5}{4}\,\text{H},$$

qui doit être suffisant pour assurer, dans le service régulier, la garde nécessaire aux autres conditions que la pratique des choses et l'imperfection de la construction peuvent exiger, notamment pour assurer le maintien du joint dans les mouvements de balancement de la cloche entre ses guides.

Influence du défaut d'horizontalité de la cloche. — La construction est conduite pour arriver à placer la gorge qui contient le joint hydraulique dans une attitude parfaitement horizontale, mais ce résultat n'est pas toujours obtenu. La gorge peut être inclinée soit par le fait d'un tassement inégal de tout l'ouvrage, soit par une imperfection dans l'exécution de l'ouvrage en tôle.

En outre, il est nécessaire de laisser entre les galets et les guides un jeu suffisant pour que rien n'entrave la libre marche de l'ensemble.

Cette cause toute seule, permettant à la cloche de se balancer sur le gaz qui la supporte, produit des inclinaisons de la gorge. Il est facile d'en apprécier la valeur en fonction des dimensions de l'appareil.

Si l'on fait une application relative au gazomètre télescopique de Saint-Denis, qui a les dimensions suivantes :

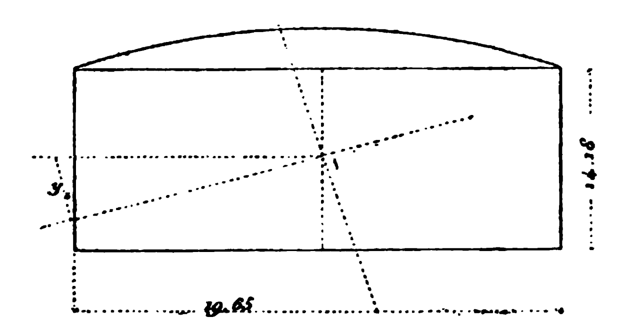
Hauteur.	14m,18
Diamètre moyen de la gorge.	19 ,65
Jeu entre les galets et les guides.	0 ,015

on trouve que le déplacement d'un point de la circonférence y, comparé au déplacement de l'axe vertical de figure, sera donné par la proportion :

$$y : 0{,}015 :: \frac{19{,}65}{2} : \frac{14{,}18}{2},$$

d'où $y = 0^{m}{,}0207.$

Mais, si le mouvement du gazomètre se produit dans un sens opposé au précédent, ce déplacement d'eau sera doublé et porté à 0m,0414.



Donc il est nécessaire que la gorge contienne, en plus de la hauteur qui a été déterminée par les considérations précédentes, une hauteur d'eau de 0m,0414.

A ces deux causes il faut, avons-nous dit, ajouter celles qui proviennent de l'imperfection de l'exécution, de l'évaporation, etc., et pour ces raisons réunies, il a été donné à la gorge du gazomètre de Saint-Denis une hauteur totale de 0m,50. C'est celle qui figure au dessin de la planche 75, fig. 9.

Hauteur de l'anneau inférieur de la cloche. — La gorge hydraulique d'un gazomètre télescopique doit nécessairement plonger dans l'eau de la cuve, lorsque l'anneau inférieur de la cloche porte au fond, sans quoi l'anneau supérieur devrait franchir, en tombant, un espace libre et, pendant ce mouvement, le gaz s'échapperait.

En outre, la cloche supérieure ne pourrait plus s'élever au-dessus du niveau de l'eau et la capacité du gazomètre serait réduite à la moitié de sa valeur initiale.

Cette condition obligée de l'immersion complète de la gorge peut même être exagérée utilement et il est extrêmement intéressant d'obliger la gorge à descendre un peu au-dessous du niveau supérieur et normal de la cuve.

D'abord, le fonctionnement de la cloche est plus à l'abri des arrêts que peut produire l'abaissement du niveau par l'évaporation ou par les fuites que présente quelquefois la maçonnerie de la cuve; ensuite elle est là à l'abri de la congélation qui atteint facilement l'eau de la surface. On conçoit, en effet, que si le sommet de la gorge affleure le niveau, l'eau qui y est contenue pourra s'y congeler, comme il arrive ordinairement à l'eau de la surface de la cuve, et si l'on considère que le fait se produira particulièrement du côté où frappe le vent, c'est-à-dire inégalement, on conçoit le trouble que pourra produire l'interposition

d'un corps solide, en un point seulement de l'intérieur de la gorge. Or les froids coïncident avec les longues nuits et se produisent ordinairement aux époques de l'année où les usines ont besoin de toutes leurs ressources en matériel ; il est donc très-important de soustraire la gorge des gazomètres télescopiques aux interruptions de service que la congélation de l'eau de la surface ne manquerait pas de produire. Une profondeur de quelques décimètres suffit d'ailleurs pour abriter la gorge, et l'espace laissé libre par cette disposition est très-utilisable pour l'application des galets supérieurs sur le côté de la cloche centrale, où ils sont bien plus convenablement établis que sur la calotte.

Utilité du volume d'eau de la cuve. — Le refroidissement de l'eau d'une cuve de gazomètre est évidemment retardé par l'importance relative de son volume. S'il est grand, on comprend que les gelées de courte durée n'auront pas le temps d'en abaisser la température au point de congeler la surface extérieure. Dans les pays froids où la gelée est à redouter, il importera donc plus qu'ailleurs de laisser à la cuve toute sa capacité, ce que ne font pas quelques constructeurs.

Chauffage de la gorge. — Il ne suffit pas de soustraire la gorge hydraulique à la congélation, qui pourrait l'atteindre lorsque le gazomètre est au bas de sa course; il faut encore s'opposer à son refroidissement lorsqu'elle est élevée au-dessus de l'eau de la cuve.

Deux moyens sont employés à cet effet. Ou bien on enveloppe la cloche dans un vaste pavillon hermétiquement clos et dont l'atmosphère est convenablement chauffée; ou bien on réchauffe l'eau de la gorge au fur et à mesure qu'elle se refroidit.

Cette dernière solution a besoin, pour être efficace, de dispositions spéciales et celles qui sont appliquées sur le gazomètre de Saint-Denis garantissent le succès sans obliger aux dépenses d'établissement d'un pavillon enveloppant tout le gazomètre et ne dispensant pas d'ailleurs d'un chauffage puissant.

Elles consistent dans l'établissement d'une double paroi formant l'un des côtés de la gorge hydraulique et dans l'introduction d'un jet de vapeur dans l'espace formé entre elles. On comprend qu'il soit possible de faire arriver par cette disposition autant de chaleur qu'il en faudra pour maintenir l'eau de la gorge à une température supérieure à 0°.

L'eau condensée se joint à l'eau de la gorge et toute la chaleur apportée par la vapeur est utilisée.

Il importe que le nombre des points par lesquels la vapeur pénètre dans la gorge soit tel, que la chaleur puisse se répartir convenablement. L'expérience fait connaître qu'une élévation de température de l'eau de la gorge, de 10° au-dessus de la température ambiante, peut être facile-

ment obtenue dans une étendue de 60 mètres, soit à 30 mètres de chaque côté de l'arrivée de la vapeur.

Il importe, pour assurer le succès de cette disposition, de mettre l'extrémité du compartiment de chauffage en libre communication avec l'atmosphère, pour permettre à l'air de s'échapper et pour éviter les absorptions d'eau qui pourraient résulter de la condensation de la vapeur.

Construction des cloches.

La construction des cloches des gazomètres constitue un travail de chaudronnerie qui a ses exigences propres, mais qui offre aussi des ressources intéressantes qu'il importe de faire connaître.

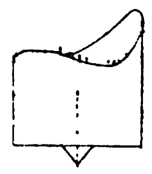
Le prix de revient de cet ouvrage peut être en effet beaucoup diminué, si on introduit dans cette confection les simplifications que la Compagnie Parisienne applique avec succès et que l'expérience a complétement consacrées. La plus importante consiste dans la préparation entière de l'ouvrage à l'atelier de confection; il n'y a plus à faire sur le terrain que l'assemblage par la rivure.

Toutes les feuilles doivent être découpées à la forge sur un patron fourni avec la commande, de telle sorte qu'il n'y ait à retoucher à aucune, et sans qu'il faille se préoccuper à l'avance ni pendant le travail de la place qu'elle occupera dans le rang auquel elle se rapporte. Un seul patron suffit à toutes les tôles du cylindre et un seul aussi à celles d'un même rang de la calotte.

Ces patrons sont exécutés en double exemplaire à l'atelier de la chaudronnerie, avant la commande, peints à l'huile en blanc, numérotés en rouge, et mis ainsi dans un état qui ne permet pas de les confondre avec des pièces semblables de la fabrication. Si l'on songe que toutes les calottes des gazomètres de grand diamètre peuvent être tracées et découpées suivant une surface sphérique de rayon constant, on comprend que les mêmes patrons de la calotte peuvent indéfiniment servir. Le dernier rang, celui qui se raccorde avec la cornière, subit seul le changement qui est commandé par la grandeur du diamètre. Le rayon de 200 mètres convient bien au gazomètre de 20 à 60 mètres de diamètre. Au-dessous de 20 mètres il est nécessaire de diminuer ce rayon pour accroître la sphéricité; au-delà de 60 mètres on peut l'accroître pour diminuer le volume inutile de la calotte et la dépense auquel il correspond dans l'exécution de l'ouvrage en tôle.

La deuxième série de patrons est conservée à l'atelier, tracée, divisée et percée avec le plus grand soin, et elle sert à tracer toutes les feuilles à ouvrer. La méthode qui paraît convenir le mieux à cet effet consiste dans le pointage de chaque trou avec un poinçon qui a le diamètre du trou et qui porte au centre une pointe courte et peu angu-

laire qui suffit à produire une marque très-appréciable sous un coup de marteau très-léger. Le poinçon de la machine à percer porte une



pointe semblable, et l'ouvrier s'applique à faire coïncider la pointe de l'outil avec le coup de pointeau.

Perçage des tôles. — Les machines à percer qui assurent à l'exécution une rectitude parfaite, soit dans l'alignement, soit dans l'espacement des trous, seraient assurément d'un bon usage pour le percement des tôles du cylindre et pour celui de deux lignes des trous de la calotte; mais le percement des trous correspondant aux deux coutures circulaires doit être fait à la main.

Planage. — A leur arrivée à l'atelier, les tôles sont planées sur des tables en fonte d'une grande épaisseur formant enclume. Cette opération a surtout pour but de faire disparaître les défauts de planéité.

Après ce dressage, on les trace, on les perce, puis on cintre les tôles du cylindre en dépassant un peu la mesure du besoin, parce que le transport et les manutentions diverses qu'elles subissent tendent à les redresser.

Rivure. — Malgré le soin avec lequel ces prescriptions sont suivies, il arrive que des trous ne se rencontrent pas exactement et que l'équarrissoir en acier, passé dans la place du rivet, ne fait pas coïncider les trous des deux tôles à joindre. Ce défaut doit être corrigé par la malléabilité du rivet. Il doit être confectionné avec du fer s'écrasant facilement à froid et se refoulant bien dans une forme irrégulière comme celle que produit la superposition de deux trous dont les axes ne coïncident pas. Le fer du Berri satisfait déjà à cette condition; mais le fer de Suède est bien plus convenable encore; et quand on songe au petit rôle que joue le prix de revient du fer des rivets dans l'exécution d'un ouvrage tel qu'un gazomètre, on n'hésite pas à recourir à son emploi.

Cornières. — Les cornières qui entrent dans la confection des gazomètres sont en fer laminé à la houille. Elles sont cintrées et percées mécaniquement.

La courbure nécessaire peut leur être donnée à la main, par un travail au marteau, mais cette façon est chère et défectueuse. Une machine

à cintrer toute spéciale, construite par la Compagnie Parisienne, produit ce résultat d'une manière économique avec une grande perfection et sans altérer le métal. Cette machine ressemble beaucoup à une machine à cintrer les bandages des roues, mais elle en diffère essentiellement en ce que ses cylindres portent des cannelures qui correspondent à chacune des cornières qui peuvent être employées. La cornière à angle ouvert de 104° elle-même est cintrée sur cet appareil qui porte une cannelure disposée pour cet usage.

Montage. — Toutes les parties d'un gazomètre doivent être assemblées sur place, pièce par pièce. Le travail par parties, c'est-à-dire la réunion de plusieurs feuilles composant des panneaux faits à l'atelier, conduit à des défauts de forme inacceptables.

On ne peut obtenir un ouvrage irréprochable qu'à la condition de préparer chaque feuille à l'atelier.

Il y a plus, le rivage ne doit être commencé qu'alors que trois rangs de feuilles au moins sont assemblées. De petits boulons, portant des écrous à oreille, sont employés pour faire ce montage préalable.

Le jeu qui existe dans un ensemble composé d'un si grand nombre de pièces permet d'amener rigoureusement à leur place les feuilles qui portent les trous, percés à l'avance, des porte-galets. Il est bien évident que la cornière du bas et le premier rang de tôle doivent être posés avec attention et de manière à faire coïncider ces pièces avec l'emplacement que leur assigne le tracé.

Le diamètre lui-même doit être rigoureusement obtenu par la mise en place des pièces isolées et non pas déduit de leur assemblage successif. Si une correction quelconque à l'une des pièces de la base était nécessaire au début du montage, il faudrait l'opérer sans hésitation, plutôt que de modifier les proportions qui ont servi de base à l'exécution de toutes les autres parties de l'ouvrage.

L'interposition de papier ou de peinture dans les joints n'est pas nécessaire; un ouvrage bien fait peut et doit se passer de ce moyen qui n'assure le joint qu'au début et qui peut avoir des conséquences fâcheuses avec le temps. L'oxydation du métal dans les joints, qui ne sont pas assez serrés pour que l'eau n'y pénètre pas, complète l'étanchéité qui n'a pas été produite lors de la rivure.

Pendant l'exécution de la calotte, les feuilles qu'on assemble avant de les river sont soutenues par des étais débités dans de la planche et n'offrant pas une trop grande résistance. On les multiplie au besoin, en prenant soin de ne pas charger le plancher outre mesure en un seul point. Cette charge accidentelle, toute passagère, peut cependant atteindre un poids plus grand que le poids de la calotte elle-même, puisqu'elle en opère la tension et elle commande l'emploi de charpentes et de planchers capables de la supporter.

5° TUYAUX ADDUCTEURS.

Les gazomètres sont reliés à la fabrication par un tuyau d'entrée, et à l'émission par un tuyau de sortie; sur ces tuyaux sont interposés des moyens de fermeture, robinets, clefs hydrauliques ou vannes sèches. Les diamètres de ces tuyaux doivent être en proportion convenable avec la capacité des gazomètres et à l'abri des accidents qui peuvent en paralyser l'usage.

Ces conditions, si faciles qu'elles paraissent, rencontrent des difficultés sérieuses qui donnent un grand intérêt aux solutions diverses qu'elles ont reçues.

Sections des tuyaux. — Les conduites d'accès à un gazomètre doivent avoir une section suffisante pour ne pas ajouter aux résistances que le gaz de la fabrication rencontre entre sa production et son emmagasinage. Elles doivent avoir surtout une section suffisante pour ne pas faire éprouver au gaz, lors de l'émission, une perte de charge sensible, qui ne permettrait pas d'utiliser toute la pression due au poids du gazomètre et que la fabrication a dû vaincre pour le remplir. Enfin elles doivent pouvoir, en cas de besoin, se suppléer l'une l'autre, soit pour l'entrée du gaz, soit pour sa sortie. Cette dernière condition motive l'emploi d'un diamètre aussi grand pour l'un des usages que pour l'autre, bien que les vitesses d'écoulement correspondantes à l'entrée ou à la sortie du gaz soient très-différentes.

Enfin les formes et les diamètres des conduites d'entrée et de sortie du gaz dans le gazomètre doivent être arrêtés en tenant bien compte des obstructions fréquentes auxquelles les expose la cristallisation de la naphtaline. Il importe d'y ménager des moyens d'accès pour son extraction sans qu'il soit nécessaire de suspendre l'usage de l'appareil.

La réalisation de ces diverses conditions conduit à donner aux conduits un diamètre correspondant à une vitesse maximum de cinq mètres par seconde. Lorsque cette condition amène à faire emploi de tuyaux de trop gros diamètre, on tourne la difficulté en les multipliant. C'est ce qui a été fait pour le gazomètre n° 13 de l'usine de La Villette. Cette solution a en outre le mérite de fractionner les chances d'obstruction et d'assurer plus complétement le service contre toute cause d'arrêt.

Forme des tuyaux. — Deux systèmes sont employés dans la construction

des tuyaux d'entrée et de sortie : les tuyaux fixes en forme de siphons renversés, qui descendent au bas de la cuve, y pénètrent par dessous et remontent à l'intérieur jusqu'au-dessus du niveau de l'eau; puis les tuyaux articulés qui s'élèvent au-dessus du sol et pénètrent dans la cloche par sa calotte. Ces tuyaux, qui suivent le gazomètre dans son mouvement, sont nécessairement articulés en trois points de leur longueur.

Ces deux systèmes doivent satisfaire à des obligations particulières à chacun d'eux, qu'il est nécessaire d'examiner.

Tuyaux fixes. — Les tuyaux fixes, avons-nous dit, se composent d'une branche verticale qui descend dans un puits où elle est accessible, puis d'une partie horizontale et d'une autre branche verticale contenue dans la cuve, ces deux parties étant inaccessibles. Le coude situé au bas du puits est le point le plus éloigné auquel on puisse avoir un accès direct, et il importe d'assurer cet accès par l'exécution d'un puits en maçonnerie à l'abri des infiltrations du sol ou des fuites de la cuve du gazomètre lui-même. L'extrémité supérieure du tuyau vertical contenu dans la cuve forme bien encore un moyen d'accès; mais son usage est bien restreint, si le gazomètre doit rester en service, et si la plaque de l'ajutage placée sur la calotte au-dessus du tuyau ne peut pas être enlevée.

Deux causes d'obstruction sont à redouter dans ces conduites : l'eau d'infiltration par un joint mal fait; la naphtaline qui s'y cristallise sous l'influence du refroidissement.

Pour diminuer les chances de la première imperfection, on peut exécuter le tuyau horizontal d'une seule pièce et ne pas admettre de joint intermédiaire inabordable et, dans tous les cas, difficile à bien faire.

Pour ne pas offrir à la naphtaline un lieu de dépôt où elle puisse cristalliser en repos, il est convenable de n'avoir pas d'élargissement brusque de section à la base du tuyau vertical intérieur à la cuve. Un coude fondu avec une plaque de fondation, qui répartit le poids du tuyau vertical sur une grande étendue de maçonnerie, satisfait à cette condition. Le tuyau horizontal, aussi fortement incliné que possible et coulé d'une seule pièce, relie le coude avec la base de la conduite verticale placée dans le puits et y ramène les condensations.

Assez généralement on place en ce point une pièce de fonte d'un gros volume qui est destinée à recueillir les condensations. Ce volume est peu utilisable et il est très-encombrant. Un tuyau en forme de T, ménageant un libre accès dans le tuyau horizontal, lui est certainement préférable.

Dans tous les cas, un siphon et une pompe aspirante et élévatoire doivent nécessairement compléter ce tuyau, dont la partie inférieure, toujours froide, condense les dernières traces de vapeur d'eau entraînée par le gaz.

La naphtaline, que le gaz contient toujours et dont la cristallisation

apparaît sous des influences encore mal définies, le refroidissement ou la dessiccation, par exemple, produit souvent dans les tuyaux des engorgements qui en réduisent ou même en obstruent complétement la section. Ces cristallisations en lamelles extrêmement minces sont faciles à détacher et à entraîner par un lavage à grande eau et à froid. On pratique cette opération en introduisant l'eau par le tuyau intérieur à la cuve, soit en découvrant le regard qui recouvre l'entrée du tuyau, soit en faisant usage d'un siphon qui donne accès à l'eau sans laisser sortir le gaz, et on chasse ainsi la naphtaline contenue dans ce tuyau et dans la branche horizontale jusqu'au bas de la branche verticale. Un pompage actif pratiqué dans cette partie accessible du tuyau entraîne la naphtaline que l'eau déplace et charrie.

La pompe qui sert à vider les condensations ordinaires n'est pas suffisante pour ces nettoyages. Il faut avoir recours à une pompe puissante et simple qui s'adapte bien aux conditions de l'application. La pompe Letestu est celle qui convient le mieux à cet usage et il est convenable de préparer à l'avance une tubulure sur laquelle on puisse l'appliquer au besoin.

Tuyaux articulés. — Ces tuyaux ont été employés pour la première fois dans la construction du gazomètre de l'usine d'Ivry, appartenant alors à MM. Pauwels et Du Bochet. Ils furent imaginés pour résoudre la difficulté que présentait l'accès de ces gazomètres dont le fond est à 25 mètres sous le sol et noyé dans les eaux qu'on rencontre à cette profondeur. Leur usage fut si satisfaisant à tous les points de vue qu'on les appliqua ensuite aux gazomètres ordinaires.

Ils sont formés de tuyaux droits en tôle, relativement légers, réunis par des articulations en fonte. Chacune de celles-ci consiste dans un tuyau transversal à la direction principale, dont les deux extrémités tournent dans des boîtes à étoupes. Le garnissage de ces joints ne présente aucune difficulté pendant la marche du gazomètre et ne réclame aucun soin particulier. De l'étoupe trempée dans du suif fondu ou même seulement dans de l'huile suffit à assurer l'étanchéité du joint pendant le mouvement.

La naphtaline n'a pas apparu encore dans ces tuyaux adducteurs qui sont en fonction depuis plus de trente ans sur les gazomètres de l'usine d'Ivry, et depuis très-longtemps aussi sur un grand nombre d'autres gazomètres appartenant à la Compagnie Parisienne ou à d'autres Compagnies.

Le gazomètre n° 13 de l'usine de La Villette en offre un exemple extrêmement intéressant, puisqu'il a dispensé de l'exécution de quatre puits qui auraient occasionné une dépense beaucoup plus grande que celle des articulations.

6° GUIDES.

Gazomètres ordinaires.

La stabilité d'une cloche de gazomètre constitue un problème aussi difficile à réaliser qu'important à résoudre.

La cloche a son centre de gravité beaucoup au-dessus de son centre de figure, et tend à se renverser dès que ces deux centres cessent d'être maintenus dans une même verticale.

L'équilibre pendant le déplacement n'est pas la seule condition à satisfaire pour assurer la stabilité de ces appareils; ils doivent encore pouvoir résister dans les limites les plus étendues aux actions perturbatrices des causes étrangères à leur construction : le vent, par exemple, qui peut exercer sur une cloche de gazomètre un effort d'une intensité considérable contre lequel elle doit être efficacement protégée. Ce résultat peut bien être obtenu par la construction d'un bâtiment enveloppant le gazomètre, quand ses dimensions ne dépassent pas certaines limites ; mais quand elles atteignent les proportions des appareils auxquels les grandes Compagnies sont obligées d'avoir recours, il faut renoncer à cette solution et assurer la stabilité des appareils pendant le déplacement, malgré l'action des vents les plus intenses.

Ce n'est pas le vent seulement qui menace la stabilité des gazomètres, il y a une autre cause de renversement peut-être plus considérable : c'est l'arrêt d'un point de la cloche. Si une cloche, en effet, est arrêtée dans son mouvement par une action intervenant à sa circonférence, le mouvement qui tend à se continuer sur le reste de l'appareil fait naître des pressions horizontales qui peuvent atteindre des limites considérables.

Gazomètres à galets tangentiels avec guides en tôle. — L'étude qui va suivre suppose que les galets sont du système tangentiel, et que les colonnes et poutres du guidage sont exécutées en tôle de fer, solutions dont l'idée première appartient à deux anciens ingénieurs de la Compagnie Parisienne.

Il importe de dire que les poutres horizontales réunissant les guides, au sommet et à mi-hauteur, sont assemblées avec les colonnes d'une manière si intime qu'on peut justement les considérer comme encastrées dans celles-ci.

Rappelons aussi que les deux galets qui embrassent un même guide

laissent entre eux le jeu nécessaire pour donner passage aux imperfections d'exécution ou de verticalité de cette pièce et que quatre galets contenus dans un même plan diamétral sont seuls en contact à la fois.

Enfin, disons que les colonnes reposent sur la cuve en maçonnerie, où elles sont assemblées par de forts boulons.

Évaluation de l'action du vent. — On trouve, dans des tables spéciales, que le vent qui correspond aux grands ouragans peut atteindre une vitesse de 45^m,30, et exercer sur une surface plane qu'il rencontre perpendiculairement une pression de 277^k,87 par mètre carré.

La forme cylindrique des cloches des gazomètres a certainement pour conséquence d'amoindrir cette action dans une grande proportion; mais les auteurs ne fournissent aucune mesure directe de la réduction à lui faire subir, au moins en ce qui concerne le vent.

Pour l'eau, on considère généralement que la pression exercée par un courant d'eau agissant contre un prisme droit précédé d'une surface demi-cylindrique, est réduite dans la proportion de 1,10 à 0,57.

La forme de l'arrière des piles de pont a été aussi étudiée au même point de vue, et, lorsqu'elle est formée par deux plans inclinés à 45°, elle réduit encore la pression supportée par le prisme de 11 pour 100. L'effort total serait donc réduit, sur un cylindre, à 0,46 de ce qu'il est sur un plan.

Si ces observations faites sur les liquides sont applicables aux gaz, on serait autorisé à réduire l'effort du vent par mètre carré de la section droite d'une cloche de gazomètre, à :

$$277^k{,}87 \times 0{,}46 = 127^k{,}82.$$

Répartition de la pression sur les galets. — La pression totale se répartissant sur quatre galets, deux toujours contenus dans la cuve et deux agissant sur les guides, la force horizontale avec laquelle chacun de ces deux galets pressera sur les guides sera :

$$F = \frac{1}{4} \times 127^k{,}82 \times DH,$$

en appelant D le diamètre et H la hauteur de la cloche.

Deux conséquences différentes peuvent résulter de l'action du vent : la première, c'est le renversement de tout le système sans déformation et par sa rotation autour d'un point extérieur de la base; la seconde, c'est la déformation de tout le système qui constitue le guidage et le renversement de chaque colonne tournant autour de sa base propre.

Renversement sans déformation. — La première hypothèse ne peut s'appliquer qu'à des ouvrages dans lesquels la hauteur est grande par rapport

à la base. Elle suppose aussi que les colonnes ne seraient pas liées à la maçonnerie de manière à faire résistance à leur soulèvement. Toute l'étude relative à cette supposition se réduit à une question d'équilibre d'un corps pesant soumis à un effort de renversement par deux forces FF', agissant à son sommet dont la hauteur peut être représentée par H.

Le poids p de ce corps agissant dans le sens de la stabilité et au centre de figure, l'équilibre correspond à l'égalité :

$$pr = (F + F')\,H,$$

r étant le rayon de la circonférence circonscrite.

Déformation et renversement par parties. — La déformation du système formé par l'ensemble des guides et son renversement général résultant de celui de chaque colonne tournant autour de sa base, est une limite extrême de résistance qui répond certainement mieux aux conditions de l'application que le renversement de l'ensemble sans déformation. Avant d'atteindre la limite extrême qui suppose la destruction complète, le système subira des déformations par la flexion des pièces qui le composent, et si la limite de l'élasticité n'est pas dépassée, il reprendra sa situation initiale aussitôt que l'action déformatrice cessera d'agir.

Cette déformation peut provenir de deux sortes de causes : l'action du vent agissant horizontalement sur la cloche et ne faisant intervenir aucune force verticale, et l'intervention d'un obstacle à la descente de la cloche malgré son poids. La première de ces causes est inévitable, et c'est surtout contre elle qu'il importe de se prémunir ; quant à la seconde, qui ne peut jamais être qu'un accident, fatal il est vrai, mais facile à prévoir et à éviter, nous trouverons dans l'étude des conditions de stabilité à opposer à l'action du vent, la mesure de la résistance qui sera opposée à toute autre cause de déformation.

L'étude qui va suivre s'appliquant à des ouvrages très-différents entre eux, il sera nécessaire de les apprécier séparément. Nous considérerons donc successivement les guides formés de 4 colonnes, puis de 6, puis de 8 ou d'un plus grand nombre de colonnes : et nous ferons ensuite une application aux guides du gazomètre nº 13 de l'usine de La Villette, lesquels sont au nombre de 20.

Système de guides composé de 4 colonnes. — *Stabilité des colonnes.* — Considérons d'abord le cas d'un guidage formé de 4 colonnes reliées par deux cadres encastrés dans ces colonnes.

Appelons :

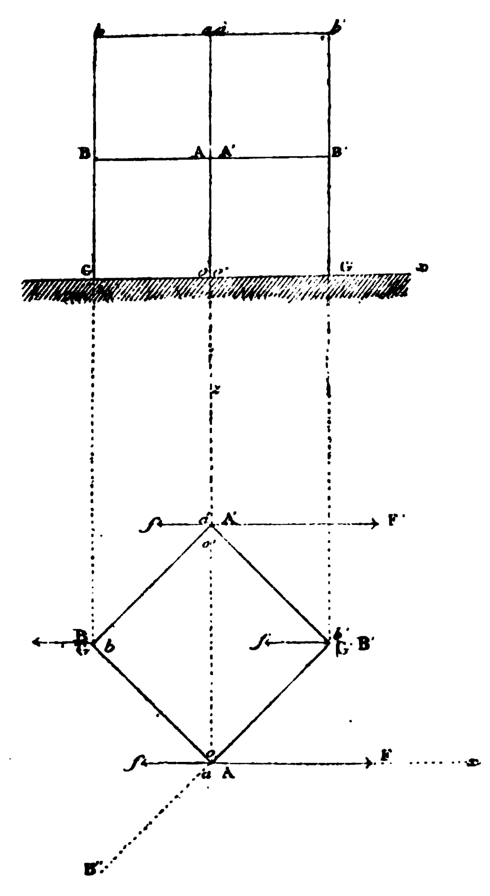
FF' les forces extérieures exercées par le vent, et transmises horizontalement aux sommets des guides dans les points aa' ;

H la hauteur de ces points d'application au-dessus du sol;

ffff les forces horizontales que les colonnes tirent de la résistance du sol.

On va voir que ces forces sont égales entre elles.

Sous l'action des forces FF′ le système supérieur compris entre les deux cadres horizontaux se déplace, les colonnes fléchissent dans leur partie inférieure *o*A, jusqu'à ce que leur résistance ait fait équilibre à l'action de ces forces FF′ ; la flexion et par conséquent la résistance de chaque colonne est la même et la figure du système ne se déforme pas ; en effet, la colonne *oq* est retenue dans sa position par la résistance des côtés des polygones projetés horizontalement en AB, lesquels exercent une résistance par traction ; puis, par la résistance des côtés projetés



en AB′ qui agissent par compression. Remplaçons ces dernières par des forces AB″ qui devront agir par traction au lieu d'agir par compression ; on voit que la colonne, retenue par AB et par AB″, forces égales d'inten-

sité et également inclinées sur la direction de la force F, se déplacera dans le plan vertical de la force F.

Il en sera de même pour la colonne A′, à laquelle est appliquée la force F′, donc le triangle ABA′ se transportera sans se déformer parallèlement à lui-même, les points *b* et *b′* parcourront le même chemin que les points *a* et *a′*; mais ce chemin est l'axe de flexion des colonnes *oa* et *o′a′* et *b*G et *b′*G′ : donc ces colonnes, qui subissent des déformations de même amplitude, opposeront la même résistance à la déformation du système.

Si l'on projette ces forces en équilibre sur un axe perpendiculaire à *oo′*, on trouvera que

$$2F = 4f \qquad (1)$$

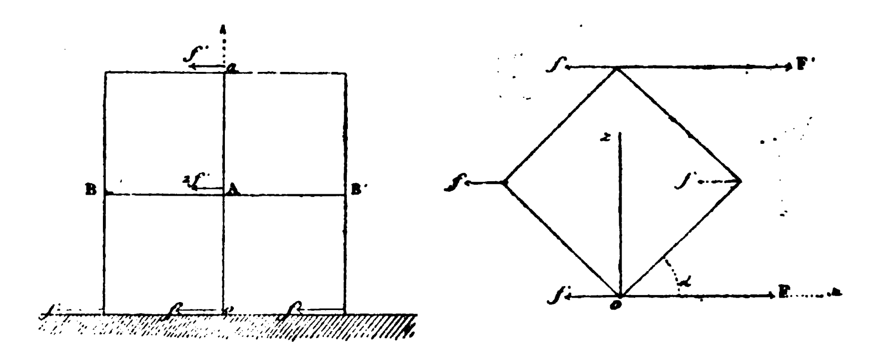
Cette équation si simple exprime la condition de stabilité à laquelle il faut satisfaire. Mais elle suppose que les forces *f* répondront aux besoins. Elle rend donc obligatoire l'étude des déformations qui pourraient en être la conséquence.

Voici cette étude :

Stabilité des poutres. — Considérons l'une des colonnes *a*AO et les deux moitiés des deux poutres encastrées sur chacun de ses côtés.

On vient de voir que les deux poutres *ab* et *a′b′* ont à transmettre des efforts égaux sous des angles égaux et doivent, par conséquent, répondre à cette condition par des sections égales, puisqu'on admet que le fer résiste également à la compression et à la traction. Mais la relation entre la résistance que devra exercer le polygone moyen et celle que devra opposer le polygone supérieur n'est pas aussi évidente.

La considération suivante paraît pouvoir guider sûrement dans cette



répartition. Si l'on considère un des éléments du système formé par une colonne et les quatre demi-poutres horizontales qui l'empêchent d'obéir aux forces qui la sollicitent, les forces extérieures FF′, *ff′*, on fait appa-

raître le rôle des forces développées dans les côtés des polygones. Puisque les forces f' sont destinées à empêcher le renversement de la colonne autour de l'axe oz, la résistance que doivent opposer les poutres intermédiaires AB, AB′ devra être d'autant plus grande que ces poutres seront plus éloignées du point a, c'est-à-dire plus rapprochées du point o.

Mais d'autre part, l'effort de rupture de la colonne, à son encastrement dans le cadre au point A, effort qui résulte de l'entraînement du système par F et qui développe la réaction de f, est proportionnel à la hauteur du premier cadre au-dessus du sol.

On reconnaît donc que la distance entre les cadres devrait être augmentée pour satisfaire à la première condition, puis diminuée pour satisfaire à la seconde; et comme ces causes ont des valeurs absolues peu différentes l'une de l'autre, on est conduit à placer le premier cadre au milieu de la hauteur des colonnes et à lui assurer, comme conséquence, la résistance qui convient à cette position.

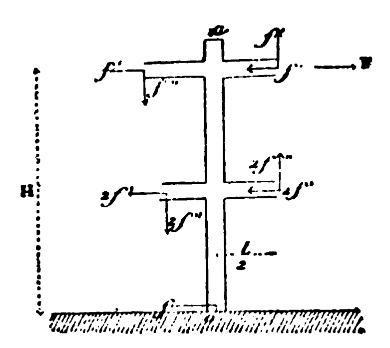
Ce résultat sera obtenu si on donne à la pièce inférieure une section double de celle de la pièce supérieure et si cette section est disposée, à l'encastrement, suivant une figure qui double aussi le moment de la rupture à la flexion.

En représentant par f' l'intensité des forces horizontales qui appartiennent aux côtés du cadre supérieur, on devra représenter par $2\,f'$ celles du cadre inférieur; même conclusion pour f'' et $2\,f''$, forces dont il sera parlé ci-après.

Les relations ainsi établies entre les deux sortes de forces semblables qui sont propres aux deux cadres, on peut en déduire pour chacune d'elles des valeurs en fonction de F.

Considérons la colonne oa, qui reçoit l'action de l'une des forces F, et faisons abstraction de tout le surplus du système en supposant les côtés des polygones adjacents, coupés au milieu de leur longueur et sollicités en ces points par les forces f' f'', dont il vient d'être parlé.

Le système solide à étudier est représenté par la figure suivante :



Les moments des forces qui tendent à produire la rotation de la colonne autour de l'axe horizontal *oz* perpendiculaire au plan vertical de la force F, fourniront l'une des conditions d'équilibre qui caractérisent hypothétiquement le système.

Savoir :

$$FH - 2f' \cos\alpha\, H - 4f' \cos\alpha \frac{H}{2} - 6f'' \frac{l \cos\alpha}{2} = 0, \qquad (2)$$

en appelant H la hauteur et l la longueur de l'un des côtés des polygones.

La projection des forces sur l'axe horizontal ox parallèle à F fournit :

$$F - 6f' \cos\alpha - f = 0,$$

et puisque

$$f = \frac{1}{2} F,$$

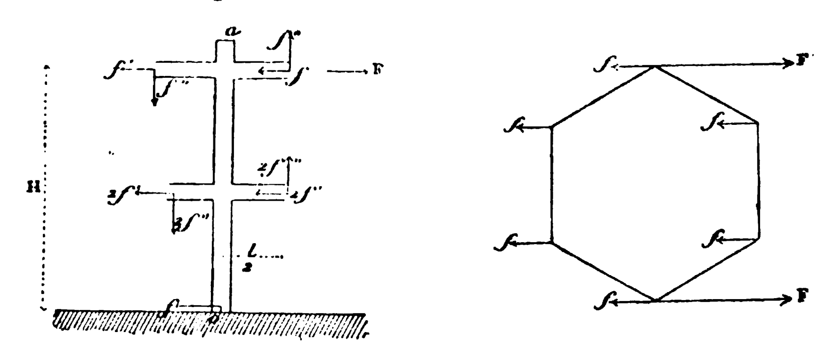
$$f' = \frac{F}{12 \cos\alpha}, \qquad (3)$$

et

$$f'' = \frac{2}{9} \frac{FH}{l \cos\alpha}.$$

Système de guides composé de 6 colonnes. — L'équilibre du système de guides formé de six colonnes peut être établi comme le précédent.

Stabilité des colonnes. — Les côtés bc et $b'c'$, interposés entre les extrémités b et c, b' et c' des poutres, mais perpendiculaires au plan vertical oyx, qui a sa base en ox, n'enlèvent rien à l'exactitude du raisonnement établi précédemment, soit en ce qui concerne l'état indéformable de la figure, soit en ce qui concerne l'égalité des forces f.



Le polygone se déplacera donc sans se déformer et on pourra écrire ainsi l'équilibre entre les forces extérieures :

$$2F = 6f \qquad (1)$$

Stabilité des poutres. — Considérant ensuite les conditions d'équilibre de la colonne *oa* et admettant, comme précédemment et par le même raisonnement, que les forces développées par la résistance du cadre moyen seront deux fois plus considérables que les forces correspondantes dues au cadre supérieur : on écrira pour la somme des moments des forces autour de l'axe *ox* :

$$FH - 2f' \cos\alpha\, H - 4f' \cos\alpha \frac{H}{2} - 6f'' \frac{l \cos\alpha}{2} = 0,$$

ou
$$FH - 4f' H \cos\alpha - 3f'' l \cos\alpha = 0. \qquad 2)$$

La projection sur l'axe *ox* fournira encore :

$$F - f - 6f' \cos\alpha = 0,$$

et puisque (1)
$$f = \frac{F}{3},$$

on tirera de la précédente équation :

$$f' = \frac{1}{9} \frac{F}{\cos\alpha},$$

et de l'équation (2), en y remplaçant f' par cette valeur :

$$FH - \frac{4}{9} FH - 3f'' l \cos\alpha = 0,$$

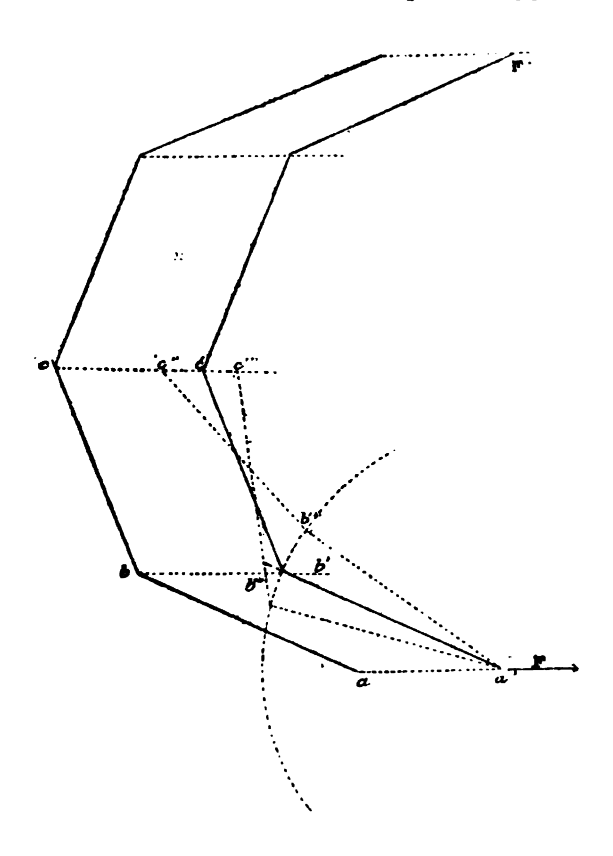
et enfin
$$f'' = \frac{5}{27} \frac{FH}{l \cos\alpha}.$$

Système de guides composé de 8 côtés et d'un plus grand nombre de côtés. — La même étude, appliquée au système de huit colonnes, permet de généraliser la question.

Stabilité des colonnes. — Il est nécessaire de démontrer encore tout d'abord que la figure polygonale du prisme, dont les colonnes forment les arêtes, ne se déformera pas sous l'action des deux forces FF', horizontales, parallèles et d'égale intensité, afin de pouvoir appliquer au système le mode de calcul qui précède.

Si cela n'avait pas lieu et si, tandis que le point *a* se transporte en *a'*, le point *b*, au lieu d'arriver en *b'*, parvenait en *b''* et que, par suite, le point *c* ne pût atteindre que *c''*, il arriverait que la flexion de la colonne *b* serait plus grande que celle de la colonne *a*, et cela n'est pas admissible puisque l'effort qui agit sur elle est déjà diminué de la part qui fléchit cette colonne *a*.

Si l'on voulait admettre que ce point b ne parvînt qu'en b'', il faudrait que la colonne c arrivât en c''', c'est-à-dire qu'elle supportât une force



fléchissante plus grande que celle qui agit sur la colonne b et même sur la colonne a et cette hypothèse est encore moins admissible que la précédente.

Donc enfin le point b s'arrêtera en b', de telle sorte que bb' et cc' seront des longueurs égales à aa', et dès lors ces droites seront parallèles et la figure $a'b'c'$... semblable à la figure abc...

Le raisonnement est indépendant du nombre des côtés du polygone et s'applique par conséquent à toutes les figures qui pourraient être prises pour base de la distribution des colonnes sur un même cercle. On est donc fondé à poser :

$$2F = 8f$$

et plus généralement $\quad 2F = nf \qquad (1)$

n étant le nombre des côtés du polygone.

Stabilité des poutres. — Les mêmes raisonnements que ceux qui précèdent permettent d'écrire que l'équilibre de la colonne *oa*, considérée comme pouvant tourner à sa base autour de l'axe *oz*, donne lieu à la relation :

$$FH - 4f'H \cos\alpha - 3f''l \cos\alpha = 0 \qquad (2)$$

Puis la projection des forces sur l'axe horizontal *ox* donne :

$$F - f - 6f' \cos\alpha = 0,$$

et puisque (1) $f = \frac{2}{n} F,$

$$f' = F \frac{1 - \frac{2}{n}}{6 \cos\alpha},$$

et l'équation des moments (2) devient :

$$FH - 4F \frac{1 - \frac{2}{n}}{6 \cos\alpha} H \cos\alpha - 3f''l \cos\alpha = 0,$$

d'où on tire la valeur de f'' qui produit la flexion du côté du cadre supérieur,

$$f'' = \frac{FH}{l \cos\alpha}\left[\frac{1}{3} - \frac{2}{9}\left(1 - \frac{2}{n}\right)\right].$$

Le cadre moyen doit opposer la résistance $2f''$.

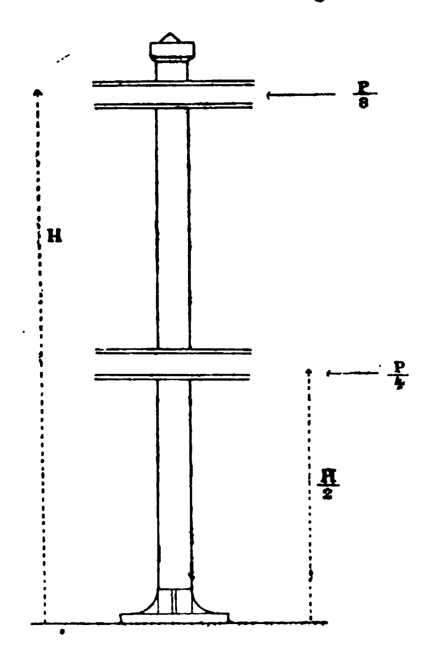
Gazomètres télescopiques.

Guides des gazomètres télescopiques. — Les gazomètres dont la cloche est formée de plusieurs cylindres se développant successivement pendant l'ascension, transmettent aux guides la pression qu'ils reçoivent du vent, par des galets appliqués au sommet et au bas de chaque anneau cylindrique et ne diffèrent des gazomètres ordinaires que par une répartition plus heureuse des efforts exercés sur les guides.

Tout ce qui a été dit précédemment s'applique donc à ce genre d'ouvrages sans qu'il soit nécessaire de les soumettre à une étude particulière.

Si la cloche est formée de deux anneaux, un quart de la pression exercée par le vent se transmettra au sommet des guides et deux quarts au milieu de leur hauteur; le dernier quart s'appliquera aux guides contenus dans la cuve.

La projection de ces forces sur l'axe horizontal sera donc égale aux trois quarts de la force totale exercée par le vent sur la cloche, et cette projection se répartira sur les deux colonnes intéressées, qui auront par conséquent à résister chacune à une force fléchissante qui sera les $\frac{3}{8}$ de la force totale au lieu d'en être seulement les $\frac{2}{8}$.



Quant à la résistance au renversement, elle restera la même que si le gazomètre était du système ordinaire.

En effet, si l'on représente par P l'effort total, le sommet du guide sera soumis à $\frac{1}{8}$ P et le milieu à $\frac{2}{8}$ P, et la somme des moments qui tendent à produire le renversement sera :

$$\frac{1}{8} PH + \frac{2}{8} P \frac{H}{2} = \frac{1}{4} PH = FH.$$

Application au gazomètre n° 13 (usine de La Villette). — L'application des formules qui viennent d'être établies et qui permettront de proportionner convenablement les dimensions des diverses parties constituant le système qui guide la cloche d'un gazomètre dans son mouvement, nécessite la détermination des formes et l'indication des résistances propres aux matières employées.

Le gazomètre n° 13 de l'usine de La Villette peut être présenté comme un exemple,

Valeur de F. — Ce gazomètre a les dimensions suivantes :

$$D = 55 \text{ mètres},$$
$$H = 13 \text{ mètres},$$

et la pression que le vent d'un grand ouragan peut exercer sur sa cloche, supposée au sommet de sa course, peut être évaluée comme il a été dit précédemment à :

$$4F = 127^k,32 \times 55 \times 13 = 88{,}000 \text{ kilog.}$$

en chiffres ronds.

L'effort f tendant à produire la rupture de chaque colonne à son encastrement sera donc :

$$f = 2\,\frac{F}{20} = 2{,}200 \text{ kilog.}$$

Puis, les forces qui tendent à produire la déformation des poutres se déduiront des formules :

$$f' = F\,\frac{\left(1 - {}_{n}\right)}{6 \cos \alpha} = 22000 \times 0{,}15 = 3{,}300 \text{ kilog.},$$

$$f'' = FH\,\frac{\frac{1}{2} - \frac{2}{9}\left(1 - \frac{2}{n}\right)}{l \cos \alpha} = \frac{22000 \times 3{,}14\left[\frac{1}{3} - \frac{2}{9}\left(1 - \frac{2}{n}\right)\right]}{8{,}23 \times 0{,}9877} = 4843 \text{ kilog.}$$

Les formes données à ces pièces sont les suivantes :

Colonnes. — La colonne est un tube en tôle ayant :

rayon extérieur $r = 0^m,325$
rayon intérieur $r' = 0^m,319$
hauteur du sol à l'encastrement $= 6^m,875$

et la formule applicable est :

$$PL = \frac{R\pi\left(r^4 - r'^4\right)}{4r},$$

dans laquelle $PL = f \times 6{,}875$

et R est le coefficient de la résistance à la traction, lequel peut être

poussé jusqu'à la limite à laquelle commence la déformation, puisque les efforts à redouter ne seront que très-accidentels et sans durée.

Cette limite est de 12 millions d'après les expériences de Poncelet.

On trouve que les dimensions données aux colonnes leur permettent de supporter sans déformation :

$$\frac{12000000 \times 3,14 \left(\overline{0,325}^4 - \overline{0,319}^4\right)}{6,875 \times 4 \times 0,325} = 3,300 \text{ kilog.}$$

et ce chiffre est beaucoup plus considérable que celui qui serait seulement nécessaire.

Les dimensions des colonnes n'ont pas été déterminées seulement par la considération qui ressort de cette condition, mais par la nécessité de les mettre en harmonie avec l'ensemble.

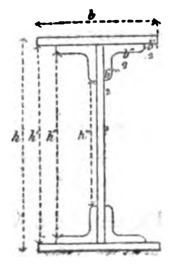
Poutres. — Les considérations qui viennent d'être développées à l'occasion de l'hypothèse qui peut être faite sur la répartition des efforts agissant sur les côtés horizontaux des cadres, n'avaient pas tout d'abord conduit à reconnaître qu'il est plus avantageux de demander cette résistance en fractions inégales aux deux côtés horizontaux du même cadre. On avait admis que chacun d'eux devait opposer la même force et on avait réparti également l'effort à supporter sur les deux pièces. Si donc on fait application des hypothèses précédentes, à la résistance de chacune de ces pièces, on trouvera que l'une est trop forte de toute la quantité dont l'autre est trop faible, mais qu'en somme l'équilibre est assuré.

La section droite d'une poutre intermédiaire est de

$$0^{mq},00972,$$

et si l'on prend encore pour limite de la résistance le chiffre de 12 kilogrammes par millimètre carré, on trouve que ces pièces pourront être tirées ou comprimées dans le sens de leur longueur par 116,640 kilogrammes, chiffre qui dépasse aussi de beaucoup la valeur possible qui est de

$$2f' = 6600 \text{ kilog.}$$



Enfin, si l'on introduit les dimensions de la poutre inférieure dans la

formule de la résistance à la flexion propre aux pièces qui ont la section transversale de l'ouvrage considéré, celle d'un double T, on trouve que la force fléchissante a la valeur :

$$b = 0{,}200 \qquad h = 0{,}650$$
$$b' = 0{,}056 \qquad h' = 0{,}634$$
$$b'' = 0{,}134 \qquad h'' = 0{,}618$$
$$b''' = 0{,}016 \qquad h''' = 0{,}494$$

$$f'' = \frac{R\,(b h^3 - b' h'^3 - b'' h''^3 - b''' h'''^3)}{L \times 6h} = 7{,}073 \text{ kilog.}$$

La pièce semblable de l'autre côté du cadre présente la même résistance. . . . . 7,073 kilog.

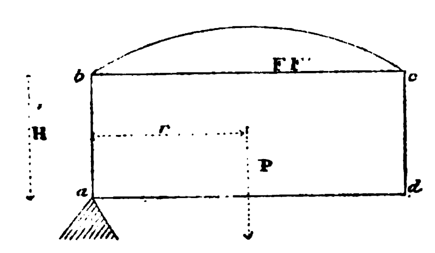
et les deux réunies . . . . 14,146 kilog.
ce qui répond bien à la somme de résistance voulue et calculée précédemment, savoir :

Celle du sommet. . . . . 4,843 kilog.
Celle du milieu 4,843 × 2 =. . . . . 9,686 kilog.
14,529 kilog.

Toutefois, nous croyons la répartition inégale mieux fondée et nous la disposerons ainsi à l'avenir.

Effort de renversement résultant d'un obstacle à la descente. — L'influence qu'un obstacle étranger aux œuvres de la construction pourrait exercer sur la descente d'une cloche de gazomètre se déduit facilement de ce qui précède.

Puisqu'on a déterminé la limite de résistance des guides à une action horizontale tendant à produire le renversement, si l'action nouvelle a la même conséquence, la question est d'avance résolue, et c'est ce qui a lieu.



En effet, si l'on représente par la figure *abcd* la projection verticale d'une cloche de gazomètre et si on la suppose arrêtée dans sa des-

cente par un obstacle se produisant en *a*, l'équilibre tendra à se produire entre le poids P de la cloche agissant en son centre de gravité et les pressions horizontales FF' fournies par les colonnes situées dans le plan vertical qui contient l'axe de la cloche et qui est perpendiculaire au plan *abcd*.

On a vu précédemment que ces pressions se transmettent à toutes les colonnes qui opposent une résistance relativement considérable.

Cet équilibre a pour limite extrême :

$$P \times r = (F + F')H$$

dans laquelle P est la valeur de la fraction du poids du gazomètre qui peut être tenue en équilibre par les forces FF' avant qu'il apparaisse aucune déformation persistante.

Or les colonnes peuvent résister chacune à 3,300 kilogrammes et les 20 colonnes à 66,000 kilogrammes. Le poids P pourra donc atteindre :

$$P = \frac{H}{r} 66000 = 31{,}200 \text{ kilog.}$$

Cette conclusion toute mathématique ne pourrait d'ailleurs se réaliser; des déformations ou des ruptures partielles interviendraient sans doute dans les parties de l'ouvrage avant que de tels efforts pussent être supportés par une de ces parties quelle qu'elle soit. Mais il n'en est pas moins très-intéressant de constater que la résistance qui pourrait se produire et entraver la marche de la cloche dans sa descente devrait présenter une intensité considérable pour dépasser la limite de résistance des pièces.

7° ÉCHAFAUDAGE POUR LA CONSTRUCTION ET LE SUPPORT DE LA CLOCHE.

L'ouvrage en charpente qui figure dans le dessin représentant la cuve du gazomètre a plusieurs destinations. Il a servi d'abord pendant la construction du cylindre de la cloche, il a été également nécessaire pour la confection de la calotte, il pourra enfin être utilisé, pendant l'emploi de l'appareil, toutes les fois que la pression venant à manquer dans le gazomètre, la calotte aura besoin de trouver un support qui s'oppose à sa déformation.

Ces trois conditions déterminent les dispositions à adopter et les proportions à donner aux dimensions de cet ouvrage.

La première nécessite que les parties extrêmes s'approchent assez du cylindre pour qu'on puisse les employer à former des supports pour les ouvriers chargés de la construction de ce cylindre. On obtient ce résultat facilement, en faisant emploi de plateaux suspendus, dont on raccourcit les chaînes de suspension au fur et à mesure que l'ouvrage s'élève.

La seconde condition exige que toute la superficie horizontale de la cuve soit garnie de poteaux verticaux également répartis, offrant un nombre suffisant de points supportant le poids du plancher et de la calotte. Ce plancher, destiné à supporter les ouvriers pendant l'exécution de cette partie du travail, doit offrir des conditions de résistance plus grandes qu'on ne les supposerait tout d'abord nécessaires. Il arrive en effet, pendant la construction, que la partie sphérique, qui compose la calotte, a besoin d'être tendue : les ouvriers, pour obtenir ce résultat, soulèvent la tôle au moyen d'étais reposant sur le plancher et qui y exercent des pressions relativement considérables.

Pour répondre à la troisième condition il faut enfin que la partie de cet échafaudage qui pourra servir à constituer ses supports uniformément répartis, soit laissée en permanence pendant toute la durée du gazomètre lui-même. A cet effet, les poteaux verticaux, qui ont été distribués sur des cercles concentriques, sont reliés par des couronnes en charpente qui approchent autant qu'il est possible de l'ouvrage en tôle et qui lui offrent ainsi des supports formés de cercles concentriques pouvant porter charge, dès que la tôle s'abaisse de quelques centimètres.

Si l'on se reporte à ce qui a été dit sur la confection de l'ouvrage en tôle, particulièrement sur la possibilité où est le constructeur de repro-

duire exactement les formes arrêtées dans le projet, on comprend qu'il soit possible de fixer à l'avance les hauteurs des couronnes composant le support en charpente, sans être exposé à laisser un intervalle entre la calotte et son support.

Cependant, pour éviter les fautes de cette nature et donner au support les dimensions les plus convenables, on ne pose les couronnes en charpente qui le terminent, que lorsque la tôle est arrivée à la hauteur qui commande ces dimensions.

Il y a plus: on compose cette partie de l'ouvrage en charpente de deux pièces distinctes : les unes formées de pièces rectilignes, couronnant les poteaux, sont situées à une distance de la tôle suffisante pour ne pas gêner l'exécution de la rivure : les autres, formées de pièces curvilignes et découpées en cercle, constituent des fourrures qui remplissent l'espace laissé par les premières entre elles et la calotte. Ces pièces, qui n'ajoutent rien à la stabilité de l'ouvrage en charpente, y sont rattachées par des ferrures appliquées latéralement.

Après l'exécution de la chaudronnerie, on enlève les étais qui soutenaient la calotte et qui maintenaient la forme sphérique et on la laisse reposer sur les couronnes de l'ouvrage en charpente : on enlève le plancher en procédant de la circonférence au centre et en faisant sortir les bois, planches et solives, par l'ouverture centrale ménagée sur la calotte. On ferme celle-ci et on procède à l'emplissage de la cuve.

TRAITÉ
DE LA FILATURE DU COTON

PAR MICHEL ALCAN

COMPTE RENDU DE LA SECONDE ÉDITION[1]

PAR M. ÉDOUARD SIMON.

Tous ceux qui ont abordé l'étude d'une ou de plusieurs spécialités mécaniques ressortissant aux industries textiles éprouvent un sentiment de gratitude pour le maître qui a frayé la route et qui, depuis 1847, poursuit avec persévérance l'accomplissement d'un programme complexe et étendu. Jusqu'à cette époque et à part quelques ouvrages des dix-septième et dix-huitième siècles plus curieux au point de vue historique qu'utiles sous le rapport de la technologie, il n'existait aucun traité d'ensemble sur l'une ou l'autre des branches industrielles dont M. Alcan a fait son étude favorite. Nous savons par expérience les obstacles de toute nature que rencontrait le nouveau venu désireux de faire son éducation dans certaines spécialités où les livres manquaient absolument, où la routine prenait des dehors mystérieux, où le progrès se trouvait entravé par l'absence de documents exacts et précis.

Cependant, sous l'inspiration de génies inventifs comme les Élie Whitney, les Philippe de Girard, les Thimonnier, les Josué Heilmann, les Buron et beaucoup d'autres dont les noms sont complétement oubliés, une pléiade de constructeurs habiles, les Schlumberger, les Mercier, les Stehelin, les Buxtorf, etc., en France; en Angleterre, les Platt, les Parr-Curtis, les Lawson, etc.; en Belgique, les Houget et Teston, les Célestin Martin, etc., etc., créèrent un outillage entièrement nouveau. La variété des moyens, la multiplicité des assortiments (dont le nombre s'accroît chaque jour en raison des caractères distinctifs des

1. Un volume in-8, accompagné d'un atlas grand in-4° de 42 planches doubles. Paris, 1875; Baudry, éditeur, 15, rue des Saints-Pères.

matières premières et aussi des divers produits à obtenir avec les filaments de même nature), nécessitaient une méthode qui fixât les principes fondamentaux de l'industrie et fît connaître aux praticiens d'une spécialité les procédés de la spécialité voisine susceptibles d'applications fructueuses dans leur propre fabrication.

L'*Essai sur l'industrie des matières textiles*, en 1847, fut comme le programme de la technologie de cette industrie; le cadre en devint bientôt trop étroit et l'auteur entreprit l'œuvre considérable dont notre bibliothèque a reçu les diverses parties au fur et à mesure de leur publication.

La première édition du *Traité de la filature du coton* commençait, en 1865, la série des ouvrages destinés à passer en revue la fabrication complète des étoffes. En 1866, parut le *Traité des laines cardées* dans lequel M. Michel Alcan fut naturellement amené à suivre la matière jusqu'aux derniers apprêts du tissu, la filature dans ce cas n'étant qu'un élément de la fabrication et ne constituant pas, comme pour le coton, une industrie absolument distincte. Vinrent ensuite les *Études sur les industries textiles à l'Exposition universelle de* 1867, où, tout en signalant les progrès réalisés à cette époque, l'auteur esquissa les procédés de la fabrication du tricot et de la filature de la soie. Les *laines peignées*, en 1873, furent étudiées avec la science pratique que le monde industriel reconnaît à M. Alcan.

Le travail dont nous essayons de rendre compte ne semble pas d'abord un ouvrage nouveau, puisque c'est la seconde édition du traité de la filature du coton, mais les chapitres où sont étudiés de récents progrès pourraient à eux seuls constituer un volume important; nous n'insisterons que sur les sujets inédits.

L'une des questions les plus délicates consiste dans la possibilité de distinguer entre elles les fibres de divers textiles mélangés; déjà, lors de la première édition, l'auteur avait indiqué un certain nombre de moyens pour constater la présence de la soie, de la laine, du coton, du lin, du chanvre, du phormium, mais il reconnaissait la difficulté et même, dans certains cas, l'impossibilité d'établir une différence sensible entre les filaments blanchis résultant, par exemple, du chanvre et du jute. Cette lacune a été heureusement comblée par M. Vétillart, dont le procédé se trouve décrit dans la nouvelle édition.

En 1865, l'industrie cotonnière subissait une crise terrible et universelle : malgré la cherté de la matière première, en dépit des affirmations contraires, des statistiques décevantes, M. Alcan soutenait que le travail libre suffirait à relever les forces productrices des États-Unis et ne laisserait pas regretter le travail esclavagiste; les chiffres du commerce américain lui ont donné raison. En 1875, la situation est cruelle aussi, mais pour la France seulement, puisque avec l'Alsace notre pays a perdu près de deux millions de broches. Ici encore l'auteur relève

notre courage en faisant ressortir la vitalité d'une industrie qui, sans renoncer à l'espoir de recouvrer ce qui lui a été arraché violemment, trouve en elle-même des ressources nouvelles.

Les progrès obtenus témoignent de cette énergie sur laquelle il est juste de compter : le *cardage* dont M. Alcan a indiqué le but, les avantages, les inconvénients, comparativement au *peignage*, vient de s'enrichir d'une machine formant le trait-d'union entre les deux modes de préparation.

Le *banc-à-broches* qui demeure, dans la plupart des cas, l'appareil indispensable pour transformer les premiers rubans en mèches légèrement tordues, se trouve parfois remplacé avantageusement par un système d'étirage dit *rota-frotteur;* dans la dernière machine le constructeur a substitué aux organes coûteux des mouvements différentiels de simples transmissions de mouvements circulaires et alternatifs.

Pour les *métiers à filer* qui sont, comme le reste de l'outillage, soumis à des modifications de détails dont il serait fort difficile de tenir à jour la nomenclature complète, le traité de la filature du coton mentionne entre autres une disposition ingénieuse destinée à remplacer l'ailette des broches de *continus* par un système de *trotteur* de forme particulière. On sait que le trotteur doit sa dénomination assez inexacte, d'ailleurs, aux nombreux circuits qu'il décrit autour de la broche.

M. Alcan après avoir renforcé, pour ainsi dire, la partie mécanique de tout ce que les six dernières années ont fourni d'intéressant à la filature du coton, résume dans un tableau synoptique les données afférentes à un assortiment de 24,000 broches. Ce travail, comme le dit l'auteur, constitue un *vade-mecum* où se trouvent groupés de la façon la plus claire les éléments indispensables à la détermination d'une semblable filature. En même temps qu'un guide spécial à une production déterminée, ce tableau fournira un modèle pour la composition d'autres assortiments applicables à des numéros plus élevés. En regard de chaque machine se voient la surface occupée par celle-ci et la surface nécessaire à l'ensemble des machines identiques du même groupe; puis le lecteur trouve successivement le poids de la machine qu'il considère et le poids de toutes les machines semblables de l'assortiment, le prix moyen de chacune d'elles, le prix de l'ensemble, le personnel nécessaire au service de l'outillage et décomposé en hommes, femmes, enfants, les salaires par personne et les salaires totalisés.

Enfin, l'auteur a consacré une partie du dernier chapitre aux résultats de l'enquête parlementaire sur le régime économique de 1870, enquête si malheureusement interrompue par la guerre et suffisante néanmoins pour faire apprécier la justesse de certaines réclamations, parfois aussi l'exagération des plaintes relatives aux effets des traités de commerce.

L'ouvrage de M. Alcan eût mérité une analyse plus complète, mais

l'étude détaillée des sujets qui s'y trouvent discutés entraînerait à un travail de longue haleine; cette longueur effrayerait ceux de nos confrères que n'intéressent pas directement les industries textiles sans profiter aux autres; pour ceux-ci, un compte rendu quel qu'il soit ne remplacera pas la lecture substantielle du traité.

Nous tenions surtout à mériter l'honneur qui nous a été fait en ne retardant pas la remise de cette note. Il nous sera permis, en terminant, d'émettre le vœu que les industries du lin et du chanvre dont les conditions ont été, en diverses circonstances, l'objet de rapports fort instructifs de la part de M. Michel Alcan, soient bientôt dotées comme les autres branches des arts textiles d'un traité complet; nul autre que notre ancien président ne saurait achever son œuvre avec la même autorité.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. ÉMILE PEREIRE.

Émile Pereire, de famille israélite et d'origine portugaise, est le petit-fils de Jacob-Rodrigues Pereire, le premier instituteur, en France, des sourds-muets, auxquels il enseigna la parole articulée.

Né à Bordeaux le 3 décembre 1800, il est mort à Paris le 6 janvier 1875.

Émile Pereire commença tout jeune, à Paris, par être courtier de change, prit une part importante aux débuts de l'École saint-simonienne, fut attaché à la rédaction du *Globe*, puis, avec Armand Carrel, à celle du *National*, où il traitait les questions de finances. Pressentant l'avenir économique et social des chemins de fer, il créa, avec un groupe d'ingénieurs et de banquiers et le concours constant de son frère, qui fut son principal collaborateur dans la plupart de ses œuvres, le premier chemin de fer à voyageurs de France, le chemin de fer de Paris à Saint-Germain, en 1835, et en 1836, le chemin de fer de Versailles (rive droite), dont il fut le directeur.

Il a été successivement l'un des principaux fondateurs, en 1845, du chemin de fer du Nord; en 1852, des lignes d'Auteuil et d'Argenteuil, et des chemins de fer du Midi; en 1853, des chemins de fer de Rhône et Loire; en 1855, de la Société autrichienne des chemins de fer de l'État, et de ceux de l'Ouest suisse; en 1856-1859, du chemin de fer du Nord de l'Espagne; en 1857, du chemin de Cordoue à Séville et de la grande Compagnie des chemins de fer russes. Il administrait, en outre, les compagnies françaises du chemin de fer de Montereau à Troyes, de l'Est et du Dauphiné, et les compagnies étrangères des chemins de fer de l'Ouest et du Central Suisses.

Émile Pereire, qui fut, sans contredit, l'artisan le plus actif et le plus élevé de la grande révolution économique et industrielle qui caractérise ce siècle, concourut à la fondation des sociétés de crédit suivantes, dont il fut administrateur : le Crédit foncier de France, le Crédit mobilier

français, le Crédit mobilier espagnol, le Crédit agricole, le Crédit mobilier italien et la Banque impériale ottomane.

Il a été le principal créateur et administrateur des grandes sociétés industrielles que nous nous bornons à énumérer :

La Compagnie immobilière, à laquelle Paris doit la rue de Rivoli achevée, une portion des boulevards Sébastopol et Haussmann, la rue Marignan, le boulevard Malesherbes, le quartier du nouvel Opéra, le boulevard du Prince-Eugène, etc.; la Compagnie générale transatlantique, la Compagnie parisienne du gaz, la Compagnie générale des omnibus, la Compagnie des entrepôts et magasins généraux de Paris, la Compagnie générale des asphaltes, les Compagnies d'assurances la Confiance (contre l'incendie), la Confiance maritime; et le Phénix espagnol; la Société houillère de Saint-Avold et l'Hôpital (Moselle) qui fit la première application en France des procédés Kind et Chaudron pour le forage et l'établissement de puits avec cuvelage en fonte; et la Compagnie des salins du Midi.

Une pareille énumération se passe de commentaires; nous la terminerons en disant la part considérable qu'Émile Pereire a prise, en 1860, au traité de commerce avec l'Angleterre et à cette grande politique du libre-échange inaugurée par ce traité, et comme membre de la commission impériale à l'Exposition universelle de 1867. Nous dirons également la protection éclairée qu'il a donnée aux arts et aux artistes, notamment en organisant et assurant de sa fortune personnelle l'exposition posthume des œuvres de Paul Delaroche.

Dans le département de la Gironde, il avait fait défricher et assainir d'immenses landes, aujourd'hui couvertes de forêts, sillonnées de routes, et créé le village de Marcheprime, qu'il a doté d'une église et d'une école.

A Paris, il a personnellement concouru à la création du parc et du quartier Monceau, dont l'un des plus grands boulevards et la place la plus monumentale ont reçu à juste titre le nom de sa famille.

Il a été membre du conseil général et député de la Gironde; il était commandeur de la Légion d'honneur.

Émile Pereire était membre de la Société des ingénieurs civils depuis 1864.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. ALFRED DESEILLIGNY.

M. Alfred Deseilligny se prépara d'abord par des études universitaires brillantes à la carrière industrielle qu'il devait embrasser. Attaché par des liens de parenté à M. Schneider, ce fut sous sa direction qu'il s'initia à la grande industrie à laquelle son caractère, son intelligence et une vraie puissance de travail le rendaient particulièrement apte.

Une grande affabilité, une douceur qui n'excluait pas, dans les moments critiques, une réelle fermeté, lui valurent promptement une véritable influence.

Aussi, devenu le gendre de M. Schneider, collabora-t-il activement à la transformation du Creusot, et particulièrement à la création de la nouvelle forge et des ateliers qui y ont constitué un des plus beaux établissements métallurgiques actuellement existants.

Ses qualités personnelles aidèrent aussi beaucoup au développement des relations commerciales du Creusot, et par de fréquentes visites en Angleterre, en Belgique et en Allemagne, il contribua à la création de ce marché extérieur où nos grandes usines, stimulées par la politique commerciale libérale de l'empire, et avec l'influence des nombreux ingénieurs français établis à l'étranger, ont trouvé d'utiles et fructueux débouchés.

Amené par des circonstances particulières à quitter le Creusot en 1866, M. Deseilligny consacra ses loisirs à des études économiques et industrielles. Il fit paraître, en 1867, un livre remarquable traitant de l'influence de l'éducation sur la moralité et le bien-être des classes laborieuses. Cet ouvrage reçut une des plus hautes récompenses de l'Académie des sciences morales et politiques.

En 1868, M. Deseilligny se réunit à un groupe important de capitalistes et d'ingénieurs, et acquit les houillères et fonderies de l'Aveyron, qu'une précédente administration avait laissées tomber en faillite. Dès lors, il se consacra comme administrateur délégué au relèvement de ces établissements.

Les qualités précieuses de M. Deseilligny, l'expérience qu'il avait acquise au Creusot, la confiance qu'il inspirait à ses collègues et l'influence qu'il prit rapidement sur la population ouvrière de l'Aveyron lui assurèrent le succès.

En 1869, l'arrondissement de Villefranche (Aveyron) l'envoya comme député au Corps législatif.

Pendant la guerre, M. Deseilligny organisa à Decazeville et à Viviez des ateliers qui rendirent de réels services à notre armement. Il contribua en outre, par son influence, à maintenir l'ordre et la discipline au milieu des populations que la démagogie du Midi cherchait à agiter.

En 1871, il fut nommé député à l'Assemblée nationale, où il se créa, par ses aptitudes spéciales, une grande notoriété dans les questions industrielles et commerciales.

Le 24 mai 1873, il fut appelé à faire partie du cabinet comme ministre des travaux publics, et occupa plus tard le ministère du commerce.

Dans ces hautes fonctions, il montra une remarquable faculté de s'assimiler les questions les plus diverses.

Fatigué par un travail incessant et par les agitations de la vie politique, il alla prendre en Italie quelques semaines de repos; mais il en rapporta malheureusement les germes d'une terrible maladie. En rentrant en France, il s'arrêta à Decazeville, et, à peine revenu à Paris, il était enlevé par une fièvre typhoïde, à un âge auquel on pouvait encore attendre de lui une longue carrière, qui eût été certainement féconde pour l'industrie française.

M. Deseilligny était membre de la Société des ingénieurs civils depuis 1872.

Paris. — Imprimerie Viéville et Capiomont, 6, rue des Poitevins.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(OCTOBRE, NOVEMBRE, DÉCEMBRE 1875)

N° 32

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Théorie de la chaleur*, par M. Gillot (Séance du 1er octobre, page 719).

2° *Navigation aérienne*, par M. de Bruignac (Séance du 1er octobre, page 728).

3° *Électricité aux sciences, aux arts et à l'industrie* (*Exposition internationale des applications de l'*), par M. Armengaud jeune fils (Séance du 15 octobre, page 730).

4° *Acier* (*Constructions en*), par MM. Gautier et Marché (Séance du 15 octobre, page 737).

5° *Gares à marchandises* (*Grandes*) en Angleterre, par M. De Cœne (Séance du 5 novembre, page 745).

6° *Aiguilles de chemins de fer* (*Manœuvre des*), par M. Jules Morandière (Séance du 19 novembre, page 764).

7° *Tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre*, par M. Lavalley (Séance du 19 novembre, page 765).

8° *Gazomètres* (*Construction des*), par M. Arson (Séance du 3 décembre, page 777).

9° *Anémomètre, mesure de la vitesse du vent*), par M. Arson (Séance du 3 décembre, page 781).

10° *Pompe à air comprimé*, système Geneste et Herscher, par M. Lencauchez (Séance du 3 décembre, page 782).

11° *Statuts et Règlements* (*Modifications des*) (Séance du 10 décembre, page 785).

12° *Situation financière de la Société* (Séance du 17 décembre, page 788).

13° *Élections des membres du Bureau et du Comité* (Séance du 17 décembre, page 789).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Coulanghon, ingénieur, un exemplaire de son *Étude comparée de la voie pour tramways, système Léon Marsillon, avec les divers types de chemins de fer américains.*

2° De M. Brunfaut, ingénieur, un exemplaire des cinq premières livraisons d'une *Étude sur les voies de transport.*

3° De M. Arson, membre de la Société, d'une note sur l'*Anémomètre, mesure de la vitesse du vent.*

4° De M. Champonnois, un exemplaire d'une note sur les *Presses continues.*

5° De M. Vidard, membre de la Société, deux exemplaires de sa brochure sur le *Matériel de transport de voyageurs en chemin de fer.*

6° De M. Thurston, membre de la Société, un exemplaire de son *Discours prononcé à l'Institut technologique de New-York.*

7° De M. Barrault, membre de la Société, quatre volumes intitulés : *Report by the général Board of Health* ou *the Supply of Water to the Metropolis.*

8° De M. Fernique, membre de la Société, un exemplaire de son *Album photographique de* 21 *vues de l'École centrale.*

9° De M. Dornès, membre de la Société, l'analyse du rapport de mis-

sion de M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, sur les *Chemins de fer anglais.*

10° De M. Chopin, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur un *Système de traverses annulaires en fer à crampons rivés pour rails à patin.*

11° De MM. Joyant et Dumont, membres de la Société, une note sur les *Chemins de fer à voie étroite de Lausanne à Echallens (Suisse), et de Turin à Rivoli (Italie).*

12° De M. Piarron de Mondesir, ingénieur en chef des ponts et chaussées, un exemplaire de sa note sur la *Théorie de la locomotive sans foyer.*

13° De M. William T. Walker, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée : *On the construction of a railway acrosse the Chamel, Beneath the sea, Between the coasts of England and France.*

14° De M. de Cœne, membre de la Société, un exemplaire d'un rapport de l'Assemblée générale du 30 juin 1875, de l'*Association normande des propriétaires d'appareils à vapeur.*

15° De M. Yvon-Villarceau, membre de la Société, un exemplaire de son mémoire intitulé : *Additions à la connaissance des temps*, et un exemplaire de sa note sur les *Recherches sur la théorie de l'aberration, et considérations sur l'influence du mouvement absolu du système solaire, dans le phénomène de l'aberration.*

16° De M. de Magnac, lieutenant de vaisseau, un exemplaire d'une note sur le *Progrès réalisé, dans la question des atterrissages, par l'emploi de la méthode rationnelle, dans la détermination des marches diurnes des chronomètres.*

17° De M. Jacqmin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, un exemplaire d'une *notice bibliographique sur M. Jules Callon,* inspecteur général des mines.

18° De M. Hayden, géologiste, un exemplaire de son rapport *of the United States géological survey of the territories.*

19° De M. Passedoit, ingénieur : 1° un exemplaire de son *avant-projet de collecteur déversoir-railway entre Paris et la Manche ;* 2° un exemplaire de son mémoire sur le *Chemin de fer de circonvallation ;* 3° un exemplaire d'un mémoire intitulé *Trait d'union entre la France et l'Angleterre.*

20° De M. Jules Morandière, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur les *Locomotives à l'Exposition de Vienne* (2e partie), et deux dessins représentant les *Appareils d'enclanchement du système Vignier*, employés à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest dans la *Manœuvre des aiguilles.*

21° De M. Polonceau, membre de la Société, un exemplaire de la *Conférence tenue en* 1874, *à Dusseldorf, par les chefs de service de chemins de fer allemands. Questions et réponses.*

22° De M. Gondolo (Antonio), membre de la Société, six planches lithographiées des *Appareils de sûreté, système Saxby et Farmer.*

23° De M. Sandberg, membre de la Société, des exemplaires d'une note sur la *Résistance des joints des rails.*

24° De M. le Ministre des travaux publics, un exemplaire de la *Situation des chemins de fer français au* 31 *décembre* 1874.

25° De M. Monbro, membre de la Société, un exemplaire d'un mémoire sur l'*Application de la pression hydraulique aux machines-outils et aux travaux publics.*

26° De M. Monnot, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur la *Fabrication du sucre de betterave en Autriche.*

27° De M. Kowalski, membre de la Société, une note sur la *Mise en feu du haut-fourneau n°* 3, *à l'usine d'Aulnoye* (*Nord*).

28° De l'École des ponts et chaussées, un exemplaire d'une livraison supplémentaire de la *Collection des dessins formant le Portefeuille des Élèves.*

29° De M. Vauthier, membre de la Société, un exemplaire de son rapport présenté au Conseil général de la Seine, sur diverses questions se rattachant *aux chemins de fer d'intérêt local du département.*

30° De M. Chapelle, un exemplaire de son mémoire sur les *Inondations.*

31° De M. le Ministre des travaux publics, un exemplaire de la *Revue géologique*, publiée par MM. Delesse et de Lapparent.

32° De M. Jules Brunfaut, ingénieur, les 6e, 7e et 8e livraisons de son *Étude sur les voies de transport en France.*

33° De M. de Bonnataire, membre de la Société, un exemplaire de son étude sur l'*Alimentation d'eau des campagnes élevées et des plateaux.*

34° De M. Lavalley, membre de la Société, un exemplaire des rapports sur les sondages exécutés dans le Pas-de-Calais en 1875.

35° De M. E. Moerath, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Studj e proposte per il perfezionamento delle costruzioni idrauliche della navigazione interna d'Italia, e pella bonificazione e colonizzazione dei terreni limitrofi.*

36° De la Revue *les Mondes*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

37° Du journal *The Engineer*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

38° De la *Société d'encouragement*, les numéros du quatrième trimestre 1875 de son bulletin.

39° De la *Société de géographie*, les numéros du quatrième trimestre 1875 de son bulletin.

40° De la *Société nationale et centrale d'agriculture*, les numéros de novembre et décembre 1874 de son bulletin.

41° Des *Annales des chemins vicinaux*, les numéros des troisième et quatrième trimestres 1875.

42° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du troisième trimestre 1875.

43° De la *Revue des Deux Mondes*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

44° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

45° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

46° Du journal de la *Revue industrielle*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

47° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

48° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

49° Du journal *le Cosmos*, les numéros du troisième trimestre 1874.

50° De la *Société des Ingénieurs portugais*, les numéros du deuxième trimestre 1875 de son bulletin.

51° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

52° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

53° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros des deuxième et quatrième trimestres 1875.

54° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du troisième trimestre 1875.

55° Du journal *la Houille*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

56° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

57° De l'*Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége*, les numéros du premier trimestre 1875 de son bulletin.

58° Du journal *Engineering*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

59° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

60° *Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne*, le deuxième numéro de son bulletin de 1875.

61° *Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube*, le tome XVIII de la quatrième série de son bulletin.

62° *Institution of civil Engineers*, le numéro de leurs *Minutes of Proceedings* de 1875.

63° *Société des Ingénieurs anglais*, le numéro de leurs *Transactions* pour l'année 1875.

64° Du *Comité des forges de France*, les numéros 101 à 106 du bulletin.

65° De la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros de avril, mai et juin 1875 de son bulletin.

66° De l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, les numéros 33 et 34 de son bulletin.

67° Des *Annales des mines*, les numéros des 3° et 4° livraisons de 1875.

68° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

69° De l'*Aéronaute*, bulletin international de la navigation aérienne, le numéro du troisième trimestre 1875.

70° Du *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros du troisième trimestre 1875.

71° *Sucrerie indigène (La)*, par M. Tardieu, les numéros du troisième trimestre 1875.

72° *Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro du premier trimestre 1875 de son bulletin.

73° *A Magyar Mérnök-Egyesület Közlonye*, les numéros du deuxième trimestre 1875.

74° De la *Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers*, les numéros de son bulletin du troisième trimestre 1875.

75° De la *Société scientifique industrielle de Marseille*, du deuxième numéro de 1875 de son bulletin.

76° *Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre*, les numéros 9 et 10 de 1874 de son bulletin.

77° *Société des Arts d'Edimburgh*, le troisième numéro de 1874 de son bulletin.

78° De l'*Encyclopédie d'architecture*, le numéro du troisième trimestre de 1875.

79° *De l'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures*, les numéros du quatrième trimestre de son bulletin de l'année 1875.

80° *Institution of Mining Engineers*, les numéros de leurs *Transactions*.

81° De l'*Institution of Mechanical Engineers*, les numéros du premier trimestre 1875 de son bulletin.

82° *Annales industrielles*, les numéros du quatrième trimestre 1875

83° De la *Société des Ingénieurs civils d'Écosse*, son bulletin du deuxième trimestre de 1875.

84° De la *Société industrielle de Rouen*, le numéro du deuxième trimestre de l'année 1875 de son bulletin.

85° *De la Société de Physique*, les numéros de son bulletin du deuxième trimestre de l'année 1875.

86° Du journal *le Courrier municipal*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

87° Du journal *le Moniteur des chemins de fer*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

88° De la *Gazette des Architectes*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

89° De la *Société industrielle de Reims*, les numéros de son bulletin de mai et juin 1874.

90° De la *Revue horticole*, les numéros du troisième trimestre 1875.

91° De la *Gazette du Village*, les numéros du quatrième trimestre 1875.

92° De la *Société des Ingénieurs autrichiens*, les numéros du deuxième trimestre de 1874, de leur *Revue périodique*.

93° Du journal *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, les numéros 5 et 6 de 1875.

94° Du journal *el Porvenir de la Industria*, les numéros des troisième et quatrième trimestres 1875.

95° De la *Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne,* le numéro du premier trimestre 1875 de son bulletin.

96° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du quatrième trimestre 1874.

97° De la *Revue d'architecture*, les numéros 7 et 8 de l'année 1875.

98° *Iron journal of science, metals et manufacture*, les numéros du quatrième trimestre de l'année 1875.

99° De l'*Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France*, le numéro de son Bulletin.

Les Membres admis pendant ce trimestre sont :

Au mois d'octobre :

MM. Bourson, présenté par MM. Cornuault, Germon et Jordan.
Chalmeton, présenté par MM. De Dion, Dornès et Molinos.
Créace, présenté par MM. Jordan, Lavalley et Molinos.
Georgin, présenté par MM. Brüll, Guébhard et Orsat.
Imbert, présenté par MM. Carimantrand, Guérin et Marché.
Janzé (de), présenté par MM. De Dion, Dornès et Molinos.
Kowalski, présenté par MM. D'Arcangues, Mirecki et Thouin.
Mékarski, présenté par MM. Albaret Eug., Fromantin et Fleury.
Rockcliffe, présenté par MM. Jordan, Lavalley et Molinos.
Rohart, présenté par MM. Barrault, Périssé et Vée.
Sébillot, présenté par MM. Barrault, Périssé et Piquet.
Villard, présenté par MM. Banderali, Champouillon et Cotard.
Walker, présenté par MM. Banderali, Champouillon et Cotard.

Comme Membres associés :

MM. Bougarel, présenté par MM. Lainé, Pihet et Duméry.
Chameroy, présenté par MM. Bévan de Massy, Gargan et Lavalley.
Champonnois, présenté par MM. Chabrier, De Dion et Molinos.
Collin, présenté par MM. De Dion, Lavalley et Péligot.
Deny, présenté par MM. Duméry, Lainé et Pihet.
Feron, présenté par MM. Dumont, Lainé et Legat.
Gondolo, présenté par MM. Champion, Thirion et Tresca (Henri).
Jamin, présenté par MM. Jordan, Lavalley et Marsillon.
Jeantaux, présenté par MM. Lainé, Lemaréchal et Tresca (Henri).

Au mois de novembre :

MM. Chavannes, présenté par MM. Badois, Le Brun et Périssé.
Coulanghon, présenté par MM. Cornuault, Lavalley et Marsillon.
Danvers, présenté par MM. Lavalley, Loustau et Molinos.
Delamarre, présenté par MM. André, Demimuid et Muller.
Grébus, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Grelley, présenté par MM. Barrault, Brüll et Lavalley.
Possoz, présenté par MM. Molinos, Pronnier et Thirion.

Au mois de décembre :

MM. Bramwell, présenté par MM. Bergeron, Lavalley et Mallet.
Durassier, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Rozicki.
Gouin fils, présenté par MM. Fouquet, Godfernaux et Lavalley.
Jouffret, présenté par MM. Le Brun, Périssé et Ponsard.
Spée, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IVE TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1875

Séance du 1er Octobre 1875.

Présidence de M. Lavalley.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 septembre est adopté.

L'ordre du jour appelle la discussion sur le mémoire de M. Gillot : *Théorie de la chaleur*.

M. Périssé rappelle que M. Gillot a énoncé une loi nouvelle qui ne tendrait à rien moins qu'à la suppression des lois actuelles de la physique ; il ne croit pas, pour sa part, à des modifications aussi profondes ; il y a certes bien des points à éclaircir, bien des lois à modifier ou à compléter, mais de là à déclarer que toutes sont erronées, il y a loin. En prenant connaissance du mémoire, M. Périssé a été frappé d'un fait, c'est que M. Gillot n'apporte aucune preuve à l'appui des lois qu'il entend substituer aux autres ; il se contente de simples énonciations, sans les justifier, et on ne trouve pas dans son mémoire une seule reproduction d'expériences faites d'une façon probante et complète.

M. Périssé a pu prendre connaissance plus spécialement de la partie du mémoire relative à la combustion : M. Gillot pose en principe que la chaleur développée est précisément et toujours le résultat de la réduction de volume, et que le développement de son intensité est en rapport inverse avec la variation de volume du fluide électrique. Un corps, l'oxyde de carbone, semble faire exception à cette règle ; mais il n'en est rien, dit M. Gillot, et pour l'expliquer, il pose que la vapeur de carbone n'a pour densité que la moitié du chiffre admis par les physiciens : mais il ne donne aucune raison à l'appui de sa nouvelle hypothèse.

Plus loin, M. Gillot dit que c'est l'électricité seule de l'oxygène de l'air mise en liberté par la combinaison de celui-ci avec les principes du gaz combustible qui produit les effets calorifiques et lumineux, et il cite, comme preuve à l'appui, le cas de l'extinction d'une flamme par un grand courant d'air ; l'insufflation entraîne

le fluide électrique et le sépare du gaz en combustion; alors il n'y a plus d'effet calorifique et lumineux. M. Périssé pense qu'il n'y a pas besoin de faire intervenir l'électricité dans ce fait si connu, et que le refroidissement amené par l'accès brusque d'une masse d'air l'explique de la manière la plus simple et la plus satisfaisante.

Puis le mémoire cite une série d'expériences faites sur un four à reverbère, un four à puddler, d'où découlerait la démonstration du principe nouveau. Dans les unes, on a employé comme combustible le gaz oxyde de carbone, et on n'a pas pu dépasser la température de 1000°, et par suite fondre la fonte; dans les autres, on a pris du gaz d'éclairage, très-riche par conséquent en carbures d'hydrogène, et alors on a obtenu la haute température demandée. M. Gillot explique le succès en disant que : la flamme avait des molécules d'hydrocarbures non décomposés qui se trouvaient en suspension sans y brûler, et qui étaient maintenues à un état de tension électrique très-élevée, et par suite à l'état incandescent; que, sans ces molécules, on n'aurait eu que la température de combustion de l'oxyde de carbone, dans lequel n'a pas lieu ce phénomène d'électricité et de chaleur.

M. Périssé examine les conditions dans lesquelles ces expériences ont été faites; il constate que l'oxyde de carbone employé était mélangé d'azote et qu'il avait été brûlé d'abord à l'air froid, et puis à l'air chaud : il ne peut admettre que dans ces conditions on ne puisse pas dépasser la température de 1000°, si on procède bien, puisqu'on sait que les fours Siemens de la Compagnie parisienne marchent avec des gaz privés d'hydrocarbures, semblables à ceux employés par M. Gillot, et que, dans ces fours, la température est bien supérieure à celle qui correspond à la fusion de la fonte.

M. Arson, présent à la séance, indique que dans les trois systèmes de fours, les gaz combustibles sont chauds, puisqu'ils proviennent de générateurs faisant partie du four, et que ces gaz sont aussi brûlés avec de l'air chaud; dans ces conditions on a pu fondre les matériaux réfractaires provenant de trois sources différentes, et on peut juger facilement si cette température aurait suffi pour fondre de la fonte.

M. Périssé croit qu'on peut expliquer la différence dans les résultats beaucoup plus simplement qu'en renversant les lois actuelles de la physique; d'abord par la disposition des brûleurs, d'après laquelle une lame de gaz se trouvait comprise entre deux lames d'air convergentes : il est probable que le gaz n'arrivait pas en quantité suffisante ou que le mélange intime ne se faisait qu'à une grande distance, et c'est ainsi que M. Périssé explique pourquoi M. Gillot a obtenu une température plus élevée dans la chambre à la suite du four.

De même, pour l'emploi de l'air chaud que M. Gillot a trouvé moins efficace que l'air froid, M. Périssé l'explique par ce fait que : les gaz dans l'expérience n'étaient pas chauds. Il en résultait donc une très-grande différence de densité avec l'air carburant, et c'est ce qui explique les résultats obtenus, parce que M. Périssé a pu observer que le mélange des deux gaz ne se fait bien qu'autant qu'ils sont de densité peu différente. D'ailleurs M. Gillot reconnaît qu'en chauffant aussi les gaz, la combustion s'améliorait.

Maintenant pourquoi la température a-t-elle été plus élevée dans les expériences pour lesquelles M. Gillot a employé des gaz provenant de la distillation de la houille, c'est-à-dire du gaz d'éclairage; c'est bien simple : il suffit de considérer qu'on employait un gaz composé presque exclusivement d'éléments combustibles, ayant une grande puissance calorifique et non mélangés d'azote, tandis que, dans l'autre cas,

les gaz ne contenaient au maximum que 35 pour 100 d'oxyde de carbone et au moins 65 pour 100 d'un gaz inerte, l'azote, puisqu'ils provenaient de la combustion incomplète du coke avec de l'air. M. Gillot a constaté que les boules de fer apportent de la chaleur dans le four à puddler, et il l'explique par une concentration d'électricité : pourquoi ne pas admettre beaucoup plus simplement que cette chaleur provient de l'oxydation du fer, qui est une véritable combustion?

M. Périssé croit avoir suffisamment démontré que si M. Gillot renverse les lois actuelles, celles qu'il veut mettre à leur place ne sont soutenues que par de simples allégations, et qu'il faudrait des preuves plus sérieuses. Il pense donc que M. Gillot pourrait réviser son mémoire, qui contient d'ailleurs plusieurs points remarquables.

M. Gillot, répondant aux objections de M. Périssé, dit : Qu'il n'a renversé aucune loi ni aucune théorie sur la chaleur, par la raison qu'il n'en existe pas, aussi bien dans l'enseignement que dans les publications. Selon lui, on ignore la nature et la cause de la chaleur ainsi que les lois qui la régissent. Il dit n'avoir fait autre chose que d'énoncer que la chaleur est une propriété exclusive de l'électricité dont elle suit les manifestations en raison inverse du volume de celle-ci; il prétend que jamais la chaleur et le mouvement ne se transforment l'un en l'autre et que le rapport de la chaleur disparue au travail produit et réciproquement n'est pas une constante; que l'équation de la chaleur telle qu'on la pose sans coefficient d'accroissement de caloricité n'est pas exacte et qu'elle ne devient vraie que par l'introduction d'un coefficient d'accroissement de caloricité particulier pour chaque corps, coefficient dont il a établi le chiffre et la loi, et que dans ce cas l'équation prend le second degré quand c'est la température qui est l'inconnue; que l'état du zéro absolu n'est pas plus vrai à 273 degrés au-dessous du zéro conventionnel de la glace fondante qu'à tout autre point de l'échelle thermométrique..

C'est donc à tort, selon lui, que M. Périssé pense qu'il n'a apporté aucune preuve à l'appui de sa théorie, et qu'il ne s'est borné qu'à de simples énonciations.

M. Gillot dit que la densité de la vapeur de carbone admise par les physiciens n'est qu'une hypothèse sans base qui n'oblige personne, tandis que la densité de ce gaz admise dans son mémoire est un corollaire de la loi nouvelle.

Quant à l'explication donnée dans le mémoire de l'extinction d'une flamme par un trop grand afflux d'air, M. Gillot la maintient; car s'il est admis que la combustion de l'air dégage une plus grande quantité de chaleur que celle absorbée pour l'échauffer, dans cette réaction un afflux d'une quantité d'air plus considérable aura pour effet d'aviver la flamme par une plus grande différence de chaleur produite. Or c'est le contraire qui arrive puisqu'elle s'éteint. L'explication de ce fait se trouve dans le mémoire. C'est l'électricité mise en liberté par la combinaison de l'oxygène dans le corps en combustion qui produit la température observée, et si cette électricité qui seule génère chaleur et lumière se trouve dispersée ou enlevée par le mouvement de l'air affluant avant qu'une nouvelle quantité ait été mise en liberté par le progrès de la combustion, la chaleur et la lumière disparaissent avec leur cause; en d'autres termes, la flamme s'éteint.

M. Gillot invoque un très-grand nombre d'expériences très-variées, faites dans le cours de plusieurs années; mais dans le cas particulier dont il est question, l'expérience, longuement prolongée et faite avec un soin tel que l'on peut considérer toute cause matérielle d'erreur appréciable comme ayant été écartée, n'a cependant atteint qu'une température de 900 degrés; si l'on rapproche de ce résultat tout

à fait digne de confiance celui fourni par l'équation de la chaleur posée pour les gaz considérés en la forme ordinaire et sans coefficient d'accroissement de caloricité, on se trouve en présence d'un chiffre théorique d'une température de 1,900 degrés, tandis que si, par contre, on pose entre les mêmes gaz l'équation de la chaleur suivant les données de la théorie nouvelle, c'est-à-dire en y introduisant les coefficients d'accroissement de caloricité, on trouve précisément la température réellement constatée.

M. Gillot dit que son mémoire n'a pas pour but d'exalter ou de déprécier un procédé quelconque, mais d'établir des principes généraux vrais à l'usage de tout le monde. Le témoignage de M. Arson invoqué par M. Périssé n'a été que la confirmation d'un fait reconnu par le mémoire même, à savoir, que du gaz combustible chauffé donne par sa combustion une température plus élevée que du gaz froid, et par conséquent ne fournit aucun argument à M. Périssé.

M. Gillot trouve que l'explication de M. Périssé, au sujet de la chaleur développée par le fer dans le four, n'est pas complète. Il y a bien, en effet, dégagement de chaleur par l'oxydation, mais il y a aussi conquête de chaleur par le rayonnement; cette double cause, dont les effets ont été expliqués, donne au fer une température plus élevée que celle du courant gazeux dans lequel il est plongé; que ce fait, parfaitement exact, est complétement conforme à la théorie nouvelle.

Qu'enfin M. Périssé n'infirme en rien les faits produits dans ce mémoire et les conséquences qui en découlent.

M. Gillot termine en invitant M. Périssé à trouver, soit dans la nature organique animale ou végétale, soit dans les phénomènes artificiellement créés par l'industrie, soit dans la nature inorganique, un seul fait de chaleur, de lumière et de mouvement qui n'ait pas son origine et sa cause dans une évolution électrique. M. Gillot prend à l'avance l'engagement lorsque, par impossible, on lui signalera un fait pareil, de prouver immédiatement que l'apparence déçoit et masque la réalité, mais que ce fait ne forme point d'exception à la loi générale posée.

Un Membre rappelle que, dans sa communication, M. Gillot, en parlant de la radiation des astres, a admis que la transmission des ondulations calorifiques et lumineuses émises par les astres se faisait par le moyen d'un fluide impondérable qui remplit l'espace; il devrait donc, s'il admet la théorie des ondulations d'un fluide, que ce fluide soit l'éther ou l'électricité, conclure que la chaleur n'est qu'un mode particulier de la transformation du mouvement.

En réponse à cette interpellation, M. Gillot rappelle que ce phénomène est expliqué dans son mémoire d'une manière assez explicite malgré la brièveté imposée aux communications faites à la Société; il répète donc que les astres ne perdent rien, qu'ils ne s'envoient réciproquement en réalité ni chaleur, ni lumière, lesquelles, d'ailleurs, ne sont pas matérielles, mais qu'ils n'échangent que les ondulations proportionnelles à la masse de leur fluide électrique; que ces ondulations ont pour agent de transmission le fluide éthéré qui remplit l'espace, et de l'existence duquel c'est la preuve; que ce fluide n'est ni chaud, ni lumineux, ni élastique, et ne paraît avoir d'autre rôle que celui d'intermédiaire de communication entre les corps circulant dans l'espace;

Que ces ondulations déterminent sur les astres de véritables marées de fluide électrique d'où résultent chaleur et lumière;

Que toutes les observations géologiques, météorologiques et astronomiques

tendent à établir l'existence d'une loi de périodicité immuable qui régit tous les phénomènes de l'univers;

Qu'il a été récemment publié une relation de trente-huit années d'études expérimentales journalières concernant l'action de la chaleur solaire sur l'aiguille aimantée, d'un savant astronome italien, M. Chiaparelli, directeur de l'observatoire astronomique de Milan; que cette intéressante publication constate une période undécennale de cette action solaire sur l'aiguille aimantée.

Ce que M. Gillot retient de ce phénomène pour la discussion présente, c'est que c'est un indice remarquable et un cas particulier de cette loi de périodicité signalée, et de plus, enfin, une preuve d'une grande valeur pour la théorie nouvelle.

M. Armengaud jeune fils demande à présenter quelques observations sur le mémoire de M. Gillot. Il rappelle que, d'après les idées généralement admises aujourd'hui, la chaleur, la lumière et l'électricité sont regardées comme trois manifestations distinctes d'une seule et même matière élastique extrêmement ténue, appelée éther, qui pénètre tous les corps et dont les particules possèdent un mouvement oscillatoire. Cette opinion trouve une de ses preuves les plus plausibles dans l'existence du triple spectre calorifique, lumineux et chimique engendré par les réfractions de la lumière.

La chaleur étant un mouvement, il est naturel d'en faire la cause première du mouvement et des effets dynamiques. Tel est le point de départ de la théorie mécanique de la chaleur qui, sous le nom de Thermodynamique, constitue une branche spéciale de la science. A l'édification de cette théorie, la plus grande œuvre scientifique de notre sciècle, ont contribué un grand nombre d'illustres savants et physiciens : Carnot, Clapeyron, Regnault, en France, et à l'étranger, Clausius, Meyer, Joule, Hirn, Zeuner, etc., etc.

C'est cette théorie que M. Gillot avoue franchement s'être proposé de détruire de fond en comble. Mais il ne fournit aucune preuve, ne produit aucun fait nouveau à l'appui de sa proposition, et c'est moins une théorie qu'un système qu'il a développé dans son mémoire.

Tout le système de M. Gillot est dans cet énoncé : que le fluide électrique, indissolublement lié aux corps pondérables, est le seul agent du mouvement; la chaleur, la lumière et l'élasticité ne sont que de simples propriétés de ce fluide.

On a fait tant d'hypothèses diverses sur la nature de la chaleur, et il règne encore tant d'incertitude sur ce point, que l'on pourrait laisser se produire celle de M. Gillot sans discussion, si dans son mémoire il n'était sorti de cette conception purement philosophique pour diriger des attaques non ménagées contre les principes et les déductions de la théorie mécanique de la chaleur. Cette théorie peut-elle être atteinte par la nouvelle hypothèse de M. Gillot? Non, sans doute, car, ainsi que le dit M. Zeuner dans la préface de son ouvrage, l'exposition de la théorie mécanique de la chaleur offre seulement un enchaînement de faits observés et démontrés indépendants de toute idée préconçue sur l'essence de la chaleur. Toutefois il n'est pas hors de propos de répondre à M. Gillot et de signaler les erreurs qu'il a commises en cherchant à mettre en contradiction la théorie actuelle et les faits.

M. Gillot conteste entièrement la vérité du premier principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur, à savoir : la transformation de la chaleur en travail extérieur et réciproquement. C'est à tort que M. Gillot donne à ce principe le nom de Loi de Hirn, qui est une loi spéciale aux vapeurs surchauffées, et qu'il emploie le terme vague de mouvement au lieu de l'expression précise de travail extérieur. D'après lui, la chaleur et le mouvement ne se convertissent pas l'un en l'autre,

et la chaleur n'est que l'expression de l'état de tension ou de concentration du fluide électrique.

Pour mettre en défaut le principe de l'équivalence de la chaleur et du travail, M. Gillot cite plusieurs exemples.

Dans un premier exemple, M. Gillot considère le travail développé par une certaine quantité de vapeur saturée, se détendant dans un cylindre de machine à vapeur, et il compare ce travail à la chaleur perdue par la vapeur qui est entrée dans le cylindre à la température de 180°, pression environ 10 atmosphères, et en sort à la température de 120°, pression 2 atmosphères. En supposant, comme le fait M. Gillot, que pendant la détente il n'y a pas de perte par le rayonnement, c'est-à-dire pas de soustraction de chaleur, il est reconnu que l'expansion est accompagnée de la condensation d'une partie de la vapeur. Cette propriété remarquable de la vapeur que semble ignorer M. Gillot a été découverte par Clausius et Rankine, et confirmée par les expériences de M. Hirn.

Or, M. Gillot, dans le calcul de la différence de chaleur, ne tient aucun compte de la vapeur condensée, et c'est au même poids de vapeur qu'il applique la formule de M. Regnault, donnant la mesure de la chaleur totale. Cette grave omission explique le désaccord trouvé par M. Gillot entre ses résultats et ceux que donne l'équation vraie de la théorie mécanique de la chaleur.

M. Armengaud discute ensuite l'analyse à laquelle se livre M. Gillot sur les circonstances de l'expérience du briquet à air. Il démontre que dans chacune d'elles le travail extérieur consommé ou développé (et non le mouvement du gaz) correspond à la chaleur gagnée ou disparue.

M. Armengaud ajoute qu'au sujet de son étude sur la production mécanique du froid par la détente de l'air, il a eu l'occasion de vérifier expérimentalement sur une machine frigorifique à air toutes les conclusions auxquelles conduit la thermodynamique sur les évolutions d'un gaz permanent, tel que l'air.

Enfin, dans un troisième exemple, M. Gillot examine le cas du lancement d'un projectile par une bouche à feu. Il met en équation la chaleur dégagée par la déflagration de la poudre et l'impulsion $F\ v$ du projectile. Or, ce n'est pas cette impulsion, mais bien la demi-force vive $1/2\ m\ v^2$ qu'il eût fallu considérer et opposer comme travail extérieur à la chaleur disparue pendant la détente des gaz de la poudre.

M. Armengaud ne peut entreprendre la discussion du mémoire tout entier : c'est un vaste travail qui dénote, sur certains points, des connaissances très-étendues, sinon assez approfondies. L'auteur y aborde des questions intéressantes qui touchent à l'astronomie, et qu'il n'y a pas lieu de traiter ici.

M. Armengaud a seulement à cœur de disculper la science moderne des principales accusations d'erreurs dont elle est l'objet de la part de M. Gillot. C'est ainsi que, dans ses critiques, il n'épargne presque aucune loi physique. Il condamne la loi de Mariotte, celle de Gay-Lussac sur la dilatation des gaz ; mais il se donne une peine inutile pour les déclarer inexactes, puisque c'est justement la théorie actuelle de la chaleur qui a eu le mérite de faire reconnaître cette inexactitude et de l'expliquer. Elle démontre dans quelles circonstances ces lois sont vraies, et quelles restrictions doivent être apportées à leur application.

La fonction $F\ (p\ v\ t)$ qui régit les évolutions des gaz est très-compliquée ; elle est la loi de Mariotte quand la température reste constante, elle devient la formule de

Poisson $p v^k = p_0 v_0^k$ quand le changement d'état de la masse de gaz a lieu sans addition ni soustraction de chaleur.

Quant à la loi de dilatation, on sait qu'elle n'est pas absolument exacte et qu'elle subit forcément des perturbations dans le voisinage des points de liquéfaction. C'est donc une controverse puérile que soulève M. Gillot à propos du zéro absolu et de l'annihilation de la matière qui en serait la conséquence, pour les gaz supposés permanents. Le zéro absolu, tous les physiciens sont d'accord là-dessus, n'est qu'une fiction scientifique.

M. Armengaud étend les mêmes observations aux chaleurs spécifiques que M. Gillot discute sous le nom de principe des caloricités. La théorie actuelle montre très-bien que la chaleur spécifique d'un corps, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever sa température de un degré, dépend à la fois de la température initiale du volume, de la pression et de la manière dont varient le volume et la pression dans le passage de la température de t^o à $t^o + 1$. C'est pour cette raison qu'il est indispensable, dans la théorie des gaz, de distinguer leurs coefficients de chaleur spécifique, l'un à pression constante, et l'autre à volume constant. Leur rapport est l'exposant k de la formule de Poisson.

M. Armengaud résume ainsi son appréciation du travail de M. Gillot :

Attribuer, comme le fait M. Gillot, à l'électricité seule la cause de tous les phénomènes dynamiques, mouvement et travail, et même faire du fluide électrique, au lieu et place de l'éther, l'agent universel de toutes les manifestations du monde physique, chaleur, lumière, etc., c'est là un système scientifique qui est défendable. Et on ne peut contester le talent que M. Gillot a déployé pour soutenir cette thèse difficile. En plus d'un endroit, la lecture de son mémoire complet est attachante par les aperçus ingénieux qu'il jette sur certains faits mal expliqués jusqu'ici.

Comparant le système de M. Gillot avec la théorie actuelle, on trouve, *à priori*, de puissantes raisons qui militent en faveur de la préférence donnée à la chaleur comme cause première du mouvement. En effet, la chaleur est la source évidente de la force motrice de nos machines, tandis que le moteur électrique industriel est encore à inventer. Ces effets de la chaleur sont permanents et ne cessent d'affecter nos sens; l'électricité, au contraire, ne révèle sa présence qu'accidentellement ou dans des circonstances pour ainsi dire exceptionnelles. Il est donc plus rationnel de supposer qu'à l'inverse de l'explication de M. Gillot, c'est la chaleur qui se convertit en électricité, ce qui arrive dans les cas d'ailleurs très-rares où le principe de l'équivalence de la chaleur et du travail ne trouve pas son entière vérification. Enfin une infériorité du système de M. Gillot résulte de l'obligation où il est de faire l'hypothèse d'un deuxième fluide, comme agent de transmission par le rayonnement.

Quoi qu'il en soit du rôle prédominant qu'il importe d'attribuer à la chaleur ou à l'électricité dans l'ordre des choses naturelles, c'est au fond une question de mots qu'aura soulevée M. Gillot. Mais ce qui est grave, et même ce qui peut donner à son travail une portée fâcheuse, c'est qu'il ne tend rien moins qu'à la négation complète des principes les plus incontestés de la thermodynamique.

Assurément il était nécessaire, comme l'a fait également, mais dans un autre sens, M. Périssé, de protester contre une pareille doctrine, en montrant que M. Gillot n'a fourni aucune preuve sérieuse de nature à infirmer un point quelconque de la théorie mécanique de la chaleur. Après comme avant le mémoire de M. Gillot, cette magnifique théorie subsiste avec son ensemble de données si sûres et si fécondes pour les recherches et les travaux des ingénieurs.



M. Gillot, répondant aux diverses observations de M. Armengaud, fait remarquer que si l'éther est élastique, ses oscillations déterminent des vides dont rien ne manifeste l'existence, et s'il a des particules, il est pondérable, ce qui entraîne la nécessité de l'hypothèse d'un autre fluide impondérable et sans particules pour relier entre elles celles du premier.

La chaleur n'est pas un mouvement et ne détermine aucun des effets dynamiques qu'on lui attribue, et qui n'appartiennent qu'à sa cause, l'électricité.

Rien n'autorise donc M. Armengaud à abriter ses opinions sous le nom de l'illustre M. Regnault, dont les travaux à jamais célèbres sont, selon M. Gillot, la confirmation de sa théorie.

Contrairement à ce que dit M. Armengaud, M. Gillot n'a pas fait une seule hypothèse dans sa *Théorie de la chaleur*, il n'a cité que des faits, et déduit leurs conséquences. Il a énoncé la loi de M. Hirn sous le nom qu'elle porte et son texte avec une exactitude absolue. Cette loi est rapportée dans les mêmes termes dans l'ouvrage de M. Jacqmin, sur les *Machines à vapeur* (volume Ier, page 24). Il a dit et prouvé que les trois propositions de cette loi sont fausses, que jamais le mouvement ne se change en chaleur et réciproquement, et que le rapport du mouvement à la chaleur apparue n'est pas constant, et il a dit pourquoi.

M. Armengaud discute la preuve tirée par M. Gillot de la considération de la vapeur. C'est un phénomène de rayonnement qui ne paraît pas bien nettement éclairci dans l'esprit de ceux qui en parlent. M. Gillot dit qu'il n'a rien à changer à ce qu'il a dit sur ce sujet, il engage M. Armengaud à relire attentivement dans son mémoire le passage cité, et il reconnaîtra qu'il n'y a pas d'erreur.

M. Armengaud n'a nullement fait la démonstration qu'il prétend avoir donnée au sujet de la discussion du briquet à air, présenté par M. Gillot; il parle de sa brochure sur la production mécanique du froid; à cet égard, M. Gillot trouve que cette brochure est l'aveu le plus explicite que M. Armengaud puisse faire de la vérité de sa théorie. Apparition de la chaleur par la contraction, disparition par la dilatation.

M. Armengaud cite un troisième exemple, discuté par M. Gillot; pour cette question il fait un cercle vicieux, mais sans conclure, et en énonçant une forme différente de celle ordinaire du symbole du mouvement du boulet.

M. Armengaud se borne à viser ce qui tient dans ce mémoire à quelques considérations géologiques et astronomiques, ou plutôt cosmogoniques. M. Gillot explique que le critérium d'une théorie est qu'elle se vérifie dans tous les cas, et que ce motif l'a amené à parler de certains phénomènes généraux de l'univers, et dans lesquels la loi nouvelle trouve une confirmation complète; qu'à cette occasion il a énoncé pour la première fois comme corollaire, comme preuve nouvelle et aussi comme signe de la gravité de la question, la grande et immuable loi de périodicité qui régit les mouvements des astres et les évolutions calorifiques qui en résultent, et auxquels se lient l'histoire même et la destinée du genre humain. Il n'y a rien que de philosophique et de rationnel à établir les preuves de l'unité de cause des forces qui sollicitent la matière pondérable et à substituer la merveilleuse simplicité de l'action de ces forces aux divagations désordonnées de l'imagination.

C'est à tort que M. Armengaud se fait le champion de la science orthodoxe sans être en mesure de démontrer à M. Gillot qu'il est dans l'erreur.

M. Gillot dit : qu'il ne soulève pas, comme le prétend M. Armengaud, de controverse puérile à propos du zéro absolu ; mais qu'il prouve que cette théorie, qui est

sérieusement acceptée par des corps savants et des hommes considérables par leur valeur et leurs travaux, est fausse.

Au sujet des chaleurs spécifiques que M. Gillot appelle caloricités par abréviation, M. Armengaud dit que les effets de la chaleur sont permanents et ne cessent d'affecter nos sens, tandis que, par contre, l'électricité ne révèle sa présence qu'accidentellement, prend l'effet pour la cause; rien n'est mieux prouvé que la présence et l'intervention permanente de l'électricité partout où il y a de la matière pondérable, et M. Gillot ne prend pas d'engagement téméraire en faisant à cet égard à M. Armengaud la même réponse qu'à M. *Périssé*, à savoir, qu'il s'oblige à démontrer qu'un fait quelconque de mouvement, de chaleur et de lumière a son point de départ et sa cause dans une évolution électrique.

M. Armengaud reproche à M. Gillot l'hypothèse d'un second fluide comme agent de transmission du rayonnement; M. Gillot ne fait aucune hypothèse sur ce point, il arrive par une irrésistible déduction logique.

M. Gillot ne recule devant aucune conséquence de son principe; il ne partage aucune des terreurs de M. Armengaud.

Selon M. Gillot, la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur que soutient M. Armengaud n'a produit encore jusqu'à ce jour que de mauvais livres et ne saurait produire autre chose parce qu'elle est fausse.

M. Gillot ne demande pas qu'on le croie sur parole, il appelle au contraire l'examen et provoque la discussion, absolument convaincu que l'adhésion unanime au principe nouveau, y comprise celle de ses plus ardents adversaires, en sera l'inévitable conséquence.

M. Arson, sans vouloir se prononcer sur le mérite des théories de M. Gillot, désire insister sur un point, c'est qu'il est, à son avis, très-remarquable de voir une discussion sur la question actuelle, dont l'importance n'échappera à personne, ouverte au sein de la Société des ingénieurs civils.

Le mémoire de M. Gillot touche à des questions d'un ordre élevé, et sur lesquelles on trouvera peu de lumières dans les auteurs; sur bien des points, il faut le reconnaître, l'enseignement actuel est insuffisant, et on ne peut s'empêcher de croire que les savants sont souvent obligés de professer publiquement des choses qui ne doivent pas les satisfaire.

On peut prendre pour exemple l'électricité. M. Arson a eu l'occasion de faire personnellement l'épreuve du peu de secours qu'il y a à obtenir des ouvrages qui traitent ces matières, et il a été bien désillusionné lorsqu'il a cru trouver un fil conducteur pour certaines recherches.

Cette situation est d'autant plus déplorable que personne n'avait pris la parole pour en signaler franchement les dangers; il y a ample matière à critiques dans les théories qu'on enseigne aujourd'hui, et néanmoins il fallait un certain courage pour les attaquer. M. Arson est heureux de voir l'initiative de ces attaques prise par un membre de la Société, et à ce titre il croit qu'on doit applaudir à la tentative que M. Gillot a eu la hardiesse de faire.

M. Gillot remercie M. Arson de ses bonnes et sympathiques paroles, et il est heureux d'avoir le témoignage d'un homme aussi considérable; il est convaincu que le dernier mot restera à la vérité, et que l'examen et la discussion changeront certainement, dans un avenir prochain, les adversaires mal renseignés d'aujourd'hui en partisans éclairés du principe nouveau.

M. le Président trouve naturel qu'une discussion de ce genre se soit élevée devant

la Société. Dans l'enseignement on commence à tort par établir des hypothèses, et il arrive fréquemment que les faits décrits à la suite de ces hypothèses viennent leur donner un démenti. La méthode expérimentale, qui repose exclusivement sur l'étude des faits, demande qu'ils soient énoncés en dehors de toute hypothèse et à plus forte raison en dehors de celles que leur non-concordance avec tel ou tel résultat incontestable d'observation frappe irrévocablement d'inexactitude.

M. le Président rappelle que dans la session tenue récemment à Bristol par l'Association britannique, le Président, Sir John Hawkshaw, fit allusion au discours de son prédécesseur en disant que quelquefois on émet des considérations si élevées qu'elles finissent par sortir des limites de l'entendement humain, et comme il lui semble que la discussion actuelle tend rapidement à se rapprocher de ces limites il propose de passer à la question suivante. (Discussion du mémoire de M. de Bruignac sur la navigation aérienne.)

M. de Dion rappelle que le but du mémoire de M. de Bruignac était, d'après l'auteur, d'indiquer la voie dans laquelle les aéronautes doivent diriger leurs efforts pour arriver à la solution du problème de la navigation. Le travail de M. de Bruignac se compose de deux parties : Dans la première, il discute les conditions de translation d'un plan dans l'air, en adoptant la loi de la résistance de l'air suivant le sinus carré de l'inclinaison du plan, ce qui est d'autant moins admissible que l'inclinaison du plan est plus grande, et que sa surface est plus étendue. En effet, en admettant que le frottement ne soit que de $\frac{1}{200}$ de la résistance du plan normal, comme il se produit sur les deux surfaces du plan, il sera égal à la résistance directe pour une inclinaison d'environ 6 degrés; il n'est donc pas négligeable. En outre, le centre de pression sur un plan incliné se rapproche de l'arête antérieure du plan, ce qui indique que la pression n'est pas uniforme, comme le voudrait la loi du sinus carré.

Dans la deuxième partie de son mémoire, M. de Bruignac arrive à discuter la valeur de l'aérostat et de l'aéroplane, il établit la supériorité de ce dernier; or il faut tenir compte jusqu'à un certain point des faits acquis; actuellement l'aérostat fonctionne et on tente de lui imprimer, par rapport à la direction du vent, une dérive qui augmentera l'angle dans lequel il pourra manœuvrer; tandis que l'aéroplane proposé par M. de Bruignac n'est encore qu'un plan géométrique, il n'a, en effet, tenu compte ni des résistances produites par l'épaisseur du plan matériel et des appareils qu'il supportera, ni du moteur qui devra le mettre en mouvement. Sa note ne contient que des indications vagues, sans données pratiques.

Il y a d'ailleurs une grande difficulté à conduire *un* aéroplane, elle résulte de la variation des conditions d'équilibre avec la vitesse. C'est avec des plans mobiles agissant rapidement comme les ailes et la queue des oiseaux qu'on pourrait lutter contre la déviation du mouvement.

M. de Bruignac, répondant aux observations de M. de Dion, dit qu'il a cru pouvoir négliger certains éléments dans ses calculs pour diverses raisons exposées dans sa note, et qu'il est impossible de disjoindre. En voici l'ensemble : d'une part, plusieurs données font défaut, au point qu'il faudrait renoncer à tout calcul si l'on ne pouvait s'en passer; mais, d'autre part, M. de Bruignac croit avoir montré que ces incorrections n'empêchaient pas d'atteindre certains résultats dans une mesure d'exactitude qu'il a indiquée; enfin, il croit avoir trouvé une confirmation *a posteriori* de sa méthode de recherches, en la voyant d'accord avec les divers phéno-

mènes du vol, et obtenant à son aide leur explication. D'ailleurs, dans une partie de son travail sur les études de construction, qu'il n'a pas abordées, mais dont il a proclamé la nécessité, M. de Bruignac a indiqué des moyens pratiques d'obvier à l'insuffisance de ses propres calculs. Relativement à l'influence des remous, par exemple, il a signalé la nécessité de munir les appareils de *poupes* qui en neutralisassent l'effet comme chez les oiseaux et les poissons. S'il n'a pas relaté les résultats déjà atteints par les ballons, c'est qu'il les a regardés comme assez connus pour qu'il n'y eût pas à y revenir. Entrant dans quelques détails, M. de Bruignac explique que le frottement de l'air *courant parallèlement* à une surface très-lisse, le seul qu'il ait négligé, lui paraît peu considérable relativement aux autres actions, même pour les grandes surfaces, et il n'admet pas le mode de calcul de M. de Dion à cet égard; il dit encore que, relativement à la *comparaison* des systèmes qu'il se proposait, il croit suffisant de comparer les éléments porteurs, puisque le reste des appareils peut être regardé comme à peu près identique. Passant en revue diverses objections indiquées par M. de Dion, M. de Bruignac reconnaît leur justesse, mais il fait remarquer qu'elles n'ont pas été laissées par lui dans l'ombre; toutes, et plusieurs autres, sont mentionnées et discutées (dans son mémoire). Quant à reproduire présentement cet examen, ce serait dépasser entièrement les limites de la discussion présente. Malgré les conditions défavorables où il se trouvait, M. de Bruignac croit avoir fait, dans une mesure utile, la comparaison qu'il avait eu en vue; il ne songe pas à imposer son opinion, c'est à chacun de faire la sienne; mais elle ne peut l'être qu'avec tous les éléments de la question.

M. Arson fait observer que lorsque des études du genre de celle qui est actuellement en discussion sont portées devant la Société des ingénieurs civils, il serait à souhaiter qu'elles amenassent à des résultats bien positifs. Il ne croit pas faire la critique des considérations théoriques en elles-mêmes, mais il lui semble qu'elles sont d'un médiocre secours pour la question dont il s'agit, et que la moindre expérience sur le sujet en apprend bien davantage.

M. Arson, par des essais personnels, a pu voir combien les considérations tirées des théories en usage conduisent à des conclusions inexactes. Par exemple, les résistances sur les surfaces en mouvement dans l'air croissent avec une rapidité qu'on ne soupçonnerait pas, et les conditions changent dès lors complétement; si au-dessous de 4 mètres de vitesse par seconde, les résistances sont assez modérées, elles croissent dans le rapport de 1 à 6 quand les vitesses passent de 4 à 8 mètres. On ne peut rien conclure de général d'une observation faite dans des limites étroites.

M. Arson croit que ce serait une recherche digne d'une Société comme celle des ingénieurs civils que d'apporter des lumières sérieuses sur une question de ce genre, au lieu de se borner à présenter une série d'hypothèses qu'aucune expérience ne vient justifier.

Répondant à l'observation de M. Arson, M. de Bruignac rappelle qu'il n'a jamais prétendu apporter une solution de toutes pièces à l'aéronautique, mais il ne croit pas qu'une étude ait besoin d'atteindre si haut pour être utile. En aéronautique l'inconnu est si vaste, qu'il faudra probablement encore la réunion de beaucoup d'efforts. Il est de tout intérêt de multiplier les expériences, et il faut se garder de marcher sans elles; mais il importe de savoir dans quelle voie les faire, il importe de diminuer autant que possible le champ du tâtonnement; c'est-à-dire de procéder par élimination et de restreindre le nombre des points à éclaircir. C'est ce que M. de Bruignac a essayé de faire, et il a obtenu quelques résultats qu'il ne croit pas sans

importance. Quant aux bases de ses calculs, elles ne sont aucunement arbitraires; ce sont des expériences anciennes, vérifiées et admises par des savants éminents, et qui sont d'accord, sans aucun doute, avec les propres expériences de M. Arson, qu'il vient de rappeler.

MM. Chalmeton, de Janzé, Kowalski, Mékarski, Rohart et Villard ont été reçus membres sociétaires, et M. Jeantaux membre associé.

Séance du 15 Octobre 1875.

Présidence de M. De Dion, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. de Bruignac présente une observation sur le procès-verbal de la séance du 1er octobre. Il n'a pas entendu la phrase dans laquelle M. de Dion a dit que sa note ne contient que des indications vagues, sans données pratiques, car s'il l'avait entendue, il l'aurait réfutée avec détails; aujourd'hui que la discussion est close, il se bornera à faire remarquer que cette appréciation est en désaccord avec les autres critiques exprimées par M. de Dion.

M. de Dion répond que le procès-verbal reproduit bien la pensée qu'il a émise.

Après cette observation le procès-verbal de la séance du 1er octobre est adopté.

M. le Président annonce que M. Thomas (Frédéric), membre de la Société, vient d'être nommé chevalier de la Légion d'honneur, et M. Hovine, chevalier de l'Ordre de Saint-Stanislas de Russie.

M. Armengaud jeune fils donne communication d'un projet d'Exposition internationale des applications de l'électricité aux sciences, aux arts et à l'industrie.

Le projet d'une Exposition internationale des applications de l'électricité, devant se tenir à Paris au Palais de l'Industrie, pour y rassembler toutes les applications de l'électricité aux sciences, aux arts et à l'industrie, est dû à l'initiative de M. le comte Hallez d'Arros. M. d'Arros n'était connu, jusqu'à présent, que par le rôle actif qu'il a rempli pendant la dernière guerre comme commandant d'un des bataillons de mobiles qui prirent part à la défense de Paris. Ses services signalés lui ont valu la croix de la Légion d'honneur et la médaille militaire. Rentré dans la vie privée, il put donner suite aux occupations scientifiques qui lui inspirèrent le projet dont la Société va être entretenue aujourd'hui.

M. Armengaud ajoute que M. d'Arros a bien voulu l'honorer de la première confidence de ce projet et le choisir comme un de ses auxiliaires pour l'élaboration de la partie technique de cette entreprise. C'est donc au nom de M. d'Arros et au sien

qu'il vient par la présente communication appeler l'attention de la Société sur un projet qui a déjà reçu l'approbation du Gouvernement, et les encouragements des hautes notabilités de la science et de l'industrie. A ce point de vue, il n'y a pas lieu de regretter que cette communication soit peut-être anticipée, car plus tôt les ingénieurs civils de la Société seront au courant des conditions générales de la nouvelle Exposition, plus tôt ils pourront y prêter le concours utile et précieux de leurs lumières et de leurs conseils.

Aujourd'hui le projet n'est plus à l'état d'une simple idée heureuse, il est entré en plein dans la voie de la réalisation. Par le compte rendu qui va être soumis de la situation présente de l'entreprise, on jugera qu'elle est digne d'exciter l'intérêt que l'on attache ici à l'avancement de la science et au développement de ses applications industrielles.

M. Armengaud développe les motifs qui militent en faveur de la nouvelle Exposition, qui expliquent sa raison d'être, son but, son utilité. Cette Exposition est destinée à vulgariser les causes, les effets et les applications de cette force encore si mystérieuse, l'électricité. Elle sera un enseignement pour tous : pour le savant, en plaçant sous ses yeux les instruments et les appareils qu'il pourra étudier à loisir, et dont l'usage stimulera son zèle et ses recherches; pour l'ingénieur et le praticien, en leur montrant les ressources qu'offre l'électricité pour résoudre des problèmes qui se posent à chaque instant au cours de leurs études et de leurs travaux; pour l'ouvrier, en lui faisant connaître quelle force peut être asservie, dirigée et peut l'aider dans son travail journalier; pour l'homme du monde, elle sera un sujet d'études intéressantes ; et enfin pour l'indifférent, s'il en existe en matière de science, une invitation attrayante à s'instruire. C'est sous l'empire de telles pensées que M. d'Arros a conçu son projet, et il est impossible d'en présenter l'importance dans des termes plus persuasifs et plus éloquents que ceux dont s'est servi M. d'Arros dans son rapport formant l'exposé du projet. On y trouve les passages suivants, que M. Armengaud demande la permission de citer :

« Mais les progrès à venir doivent être engendrés par la concentration de bien des efforts parallèles; ils sont subordonnés à la solution de bien des questions qui forment aujourd'hui un programme offert à l'émulation publique, ou que des besoins divers peuvent faire surgir. »

« Ces questions sont l'objet des recherches et des travaux des savants et des spécialistes dans toutes les nations civilisées, dans tous les centres intellectuels. Beaucoup peuvent voir leurs efforts couronnés de succès par d'utiles et importantes découvertes qui chaque jour font faire à la science un pas, pour eux glorieux et lucratif; mais pour beaucoup aussi, travailleurs modestes et obscurs, les résultats précieux de longues années de labeurs, d'études profondes et consciencieuses, ne peuvent se produire par suite d'insuffisance de moyens d'expérimentation, et telles découvertes, qui seraient peut-être de grands progrès, sont condamnées à un éternel oubli dans la mansarde du pauvre à qui elles ont été inspirées. »

« D'un autre côté, les recherches scientifiques et industrielles trouvent souvent le principal élément de succès dans la publicité donnée aux résultats partiels, qu'elles peuvent amener. Tel inventeur en effet devrait, dans bien des cas, la réussite la plus heureuse de son système et la possibilité d'utiles perfectionnements, au concours de tel autre qui, loin de lui, à son insu, a peut-être conçu et découvert la solution qui échappe à son imagination. »

« Ces considérations justifient l'immense intérêt qu'il y aurait à provoquer une con-

centration de toutes les études et de tous les travaux qui ont pour objet les applications de l'électricité aux besoins industriels, artistiques et sociaux, et de livrer à une universelle publicité les résultats obtenus. »

M. ARMENGAUD dit que le rapport dont sont extraites les lignes qui précèdent fut envoyé à toutes les personnes qui, dans les relations de M. d'Arros ou de ses amis, jouissent d'une certaine notoriété dans le monde savant et industriel. Les effets de cet envoi ne se sont pas fait attendre, et de tous côtés M. d'Arros a reçu les adhésions les plus chaleureuses. C'est avec ces premiers adhérents qu'a été composé le comité d'organisation ; cette liste, dans laquelle il faudrait citer presque tous les noms, n'est pas fermée, et on espère voir bientôt s'y joindre ceux des membres de cette Société qui s'intéressent plus particulièrement aux applications de l'électricité.

Après avoir dans son rapport indiqué un programme catégorisant en dix groupes les applications de l'électricité, l'initiateur du projet terminait en manifestant le désir de pouvoir installer l'Exposition qui répondait à un tel programme dans le Palais de l'Industrie aux Champs-Élysées. Une lettre dans ce sens fut adressée à M. le Ministre des Travaux publics, et voici la réponse flatteuse qu'elle obtint :

Paris, 26 août 1875.

« MONSIEUR LE COMTE,

« J'ai reçu la demande que vous m'avez adressée à l'effet d'obtenir, au nom d'une Société de savants et d'industriels, l'autorisation d'ouvrir, au mois de juillet 1877, au Palais de l'Industrie, une Exposition internationale des applications de l'électricité.

« Cette Exposition, pour laquelle vous avez déjà reçu de nombreux témoignages d'adhésion, me paraît devoir être très-intéressante et de nature à avoir une grande influence dans les diverses industries où l'électricité est employée comme *force* motrice. J'ai décidé que le Palais de l'Industrie serait mis à votre disposition du 1er juillet au 31 octobre 1877.

« Vous voudrez bien vous entendre, en temps utile, pour l'installation de cette Exposition, avec M. le Directeur des bâtiments civils et M. Dutrou, architecte du Palais.

« Recevez, Monsieur le Comte, l'assurance de ma considération très-distinguée.

« *Le Ministre des Travaux publics,*

« E. CAILLAUX. »

Cette concession du Palais de l'Industrie est un premier élément de succès pour la future Exposition. On ne trouvera pas trop éloignée l'époque pour laquelle elle est accordée, si l'on réfléchit qu'un délai de 18 mois ne sera pas trop long pour permettre aux exposants de se préparer à figurer dignement dans cette Exposition.

M. d'Arros avait également écrit aux Ministres de la Guerre et de la Marine, pour leur demander l'autorisation de faire appel à ceux des officiers placés sous leurs ordres qui pourraient l'aider à constituer un groupe des applications de l'électricité aux besoins de la guerre et de la marine.

M. ARMENGAUD donne connaissance de ces deux lettres, dans lesquelles les deux

ministres, non-seulement donnent l'autorisation demandée, mais encore ajoutent « qu'il appartient à M. d'Arros de rechercher lui-même ceux des officiers qui seraient « disposés à associer leurs efforts aux siens, dans le but de faire progresser cette « partie de la science et ses utiles applications. »

Chacun des ministres désigne en outre dans sa lettre plusieurs officiers, qu'il croit disposés à seconder M. d'Arros. Il convient de les citer. Ce sont : pour la guerre : MM. le colonel du génie Laussedat, les chefs de bataillon du génie Mangin et Delambre, les chefs d'escadron d'état-major Dumas et Fix ; pour la marine : MM. les contre-amiraux de Jonquières et Maudet, les capitaines de vaisseau Courbet et Trève, le capitaine de frégate Vavin, le directeur des constructions navales Marielle, le colonel d'artillerie de la marine Virgile.

Il est rare qu'à son début une entreprise rencontre d'aussi précieux encouragements ; ces lettres officielles témoignent de la grande sympathie que devait exciter un projet présentant à un haut degré un caractère scientifique et national.

M. Armengaud parle ensuite du projet de règlement destiné à la future Exposition, que M. d'Arros a rédigé en s'inspirant de ceux des Expositions précédentes. Il en cite plusieurs articles et notamment les paragraphes suivants qui définissent très-nettement le caractère spécial de l'Exposition :

Art. 1er. Il sera ouvert du 14 juillet au 31 octobre 1877, au Palais de l'Industrie, une Exposition internationale de toutes les applications de l'électricité, etc., etc.

Seront exclusivement exclus de cette Exposition tous les objets, toutes les machines, tous les instruments et appareils, tous les produits n'ayant pas un rapport direct avec l'électricité, ses moyens de production, ses effets et ses applications, et ne rentrant pas dans un des groupes du programme ci-annexé de l'Exposition.

Art. 12. Toutes les demandes d'admission à l'Exposition seront soumises par les commissaires des groupes à l'examen d'un ingénieur à ce commis, sur l'avis duquel le Comité de direction décidera si les objets, produits, machines ou appareils proposés, rentrent effectivement et directement dans le programme de l'Exposition, et prononcera leur répartition dans un des groupes.

A cet effet, les bulletins d'admission établis par les commissaires spéciaux seront délivrés, après visa de l'ingénieur chargé de ce service, par le directeur général de l'Exposition.

M. Armengaud donne ensuite quelques détails sur le rôle du Comité de patronage, et sur les attributions de la commission générale, du comité de direction, des commissaires des groupes, etc., etc.

Tel est l'ensemble des travaux préparatoires que le directeur général a soumis à l'approbation des membres du Comité d'organisation réunis en assemblée générale le jeudi 14 octobre, à 8 heures du soir, dans le grand salon du premier étage du Palais de l'Industrie.

Les assistants étaient au nombre de 50, nombre très-peu au-dessous de celui des adhérents au comité d'organisation, ce qui prouve l'empressement que chacun d'eux avait mis à se rendre à l'appel de convocation.

Sur l'invitation de M. d'Arros, M. le colonel du génie Laussedat, dont tant de travaux ont fait une notabilité scientifique, avait bien voulu accepter de présider cette séance. Avaient également pris place au bureau avec M. d'Arros, MM. Marié-Davy, directeur de l'observatoire de Montsouris ; M. de la Bruyère, secrétaire général de l'Exposition fluviale et maritime, et celui qui a l'honneur de faire la présente communication. M. R. Francisque Michel remplissait les fonctions de secrétaire.

La présence de M. le colonel Laussedat au fauteuil de la présidence a inspiré à M. d'Arros, dans sa première allocution, le développement d'une heureuse idée qui prenait sa source dans des sentiments de patriotisme, partagés par toute l'assemblée.

L'ordre du jour comportait :

1° Le rapport de M. le comte d'Arros sur les travaux préparatoires ;

2° L'adoption du règlement général de l'Exposition;

3° La constitution de la commission générale et la répartition de ses membres en sous-comités de groupes ;

4° Les mesures à prendre pour la constitution du comité de patronage.

Toutes ces propositions ont été adoptées à l'unanimité. Il n'a été fait de réserve qu'à l'égard du programme, dans lequel M. d'Arros avait d'abord divisé en 10 groupes toutes les applications de l'électricité, et qu'il a modifié, sur l'avis de ses premiers collaborateurs, en portant à 18 le nombre des groupes. Cette modification du groupement a donné lieu dans la réunion à une discussion intéressante. Avant d'en signaler les traits généraux, M. Armengaud donne connaissance du nouveau groupement, en fournissant quelques explications sur les subdivisions de chaque groupe. Ces divisions ne sont que provisoires et feront place à une classification plus précise à la suite du premier rapport de chaque commissaire de groupe.

GROUPEMENT

ADOPTÉ POUR LA RÉPARTITION MÉTHODIQUE DES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ AUX SCIENCES, AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE.

1er *Groupe.* — HISTOIRE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Ses premières découvertes.
Exposition rétrospective.
Appareils primitifs.
Cabinets et instruments des principaux inventeurs et des premiers maîtres.

2e *Groupe.* — MATÉRIEL D'ENSEIGNEMENT.

Appareils de démonstration destinés aux laboratoires et aux cabinets de physique.
Électricité statique.
Électricité dynamique.

3e *Groupe.* — GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ.

Piles et batteries.
Appareils pour la production des courants.
Machines d'induction.
Fabrication des produits et matières premières servant à la production de l'électricité.

4e *Groupe.* — ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

Électro-aimant.
Sa construction, ses emplois, ses effets, ses procédés de fabrication.
Machines magnéto-électriques, Aimants.

5e *Groupe.* — TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Fils et câbles électriques.
Sonnettes et signaux.
Appareils manipulateurs et récepteurs, à percussion, à cadran, imprimeurs, écrivants.
Télégraphie domestique.

6e *Groupe.* — HORLOGERIE ÉLECTRIQUE.

Horloges-régulateurs.
Récepteurs chronométriques.
Chronoscopes et chronographes.

7e *Groupe.* — CHEMINS DE FER.

Avertisseurs, signaux, appareils de sécurité.
Appareils de transmission électrique.
Freins électriques.

8e *Groupe.* — MOTEURS ÉLECTRIQUES.

Machines électro-motrices, appareils embrayeurs, enregistreurs, avertisseurs employés dans les usines et les manufactures.
Électro-tissage, Applications mécaniques de l'électricité aux usages domestiques.

9e *Groupe.* — LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Éclairage des villes et des ateliers.
Phares.
Éclairage souterrain et sous-marin.
Allumage instantané.

10e *Groupe.* — ÉLECTRO-CHIMIE.

Actions chimiques de l'électricité.
Électro-métallurgie.
Synthèses et analyses organiques.

11e *Groupe.* — GALVANOPLASTIE.

Application de l'électro-chimie aux beaux-arts.
Dorure, argenture, nikélisation, cuivrage, etc.
Reproduction de médailles, statues, bas-reliefs.

12e *Groupe.* — ÉLECTROTYPIE.

Application de l'électricité à l'imprimerie et à la gravure.
Clichage galvanique.
Gravure électro-chimique.
Machines à graver.

13e *Groupe.* — ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.

Application de l'électricité à la physiologie, à la thérapeutique et à la chirurgie.
Machines statiques, à faradisation, bains, brosses, chaînes galvaniques, galvano-caustique.

14e *Groupe*. — ÉLECTRICITÉ MÉTÉOROLOGIQUE.

Électricité atmosphérique.
Paratonnerres.
Courants telluriques.
Boussoles.
Appareils d'observatoire.

15e *Groupe*. — ART MILITAIRE.

Télégraphie spéciale.
Artillerie, génie, géodésie.

16e *Groupe*. — MARINE.

Signaux de commandement et de détresse.
Défenses et attaques sous-marines, torpilles.
Enregistreurs nautiques.

17e *Groupe*. — APPLICATIONS DIVERSES.

Bijouterie électrique, Applications à la prestidigitation et à la fantasmagorie.
Jouets électriques.

18e *Groupe*. — BIBLIOGRAPHIE.

Collection cataloguée et analysée de tous les ouvrages traitant de *l'électricité* théorique et appliquée.

Dans la discussion qui s'est engagée à la séance du 14 sur le groupement, il a été échangé diverses observations qui ont fait ressortir les avantages du système proposé et en ont entraîné l'adoption unanime, sauf la réserve de quelques modifications de détail à y apporter dans l'avenir. Il est évident d'abord qu'au groupement ne correspondra pas nécessairement la répartition des objets exposés. Il ne serait pas possible, en effet, d'exiger d'un exposant qu'il dispersât en plusieurs endroits du Palais les différents appareils qui se rattachent à son industrie, et qui composeront l'ensemble de son exposition. Il s'agit d'un groupement en quelque sorte théorique, devant être conçu en vue de bien catégoriser les nombreuses applications de l'électricité, et permettant de dresser avec méthode le catalogue de l'Exposition, lequel constituera une véritable encyclopédie rationnelle de l'électricité. D'un autre côté, la multiplication des groupes, en conduisant à un plus grand nombre de grandes récompenses distinctes, aura pour effet de stimuler les efforts des exposants. On a reproché, par exemple, d'avoir formé deux groupes séparés de la galvanoplastie et de l'électrotypie. Mais, ainsi que l'a fait remarquer le promoteur du projet, outre que ces deux catégories correspondent à deux branches bien différentes de l'art, eût-il été admissible de faire entrer en lutte pour la même récompense l'artisan graveur avec le fondeur de statues? Enfin la division du programme en un plus grand nombre de groupes facilitera plus tard la tâche du jury pour la confection de son rapport.

A la fin de la séance, M. le comte d'Arros a, dans une courte allocution, exposé les motifs de haute convenance et l'intérêt considérable qu'il y aurait à placer les efforts de la Commission générale d'organisation de l'Exposition internationale de l'électricité de 1877, en considération de son caractère national et de son but élevé,

sous le patronage du Gouvernement français, des corps savants, et des illustrations scientifiques de la France et de l'étranger. En conséquence on a voté à l'unanimité une proposition conférant aux membres du bureau la mission de faire les démarches nécessaires pour recueillir les adhésions permettant de composer la liste du Comité de patronage.

M. Armengaud annonce qu'une demande dans le même sens sera adressée au Président de la Société des ingénieurs civils, et il termine en espérant que la Société, représentant à un très-haut degré le côté technique des applications de l'électricité, trouvera dans ses statuts le droit de figurer à côté de l'Académie des sciences sur la liste du Comité de patronage de l'Exposition de l'électricité.

M. le Président remercie M. Armengaud de son intéressante communication. L'Exposition des applications de l'électricité dont M. Armengaud vient de nous indiquer l'importance d'une manière si complète trouvera certainement dans notre Société toute la sympathie et le concours des membres qui se sont occupés de cette importante question.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la communication de M. Gautier, sur les constructions en acier.

M. Marché rappelle que M. Gautier, dans sa communication sur les *constructions en acier*, a insisté, avec beaucoup de raison, sur la nécessité de procéder aux essais à la traction sur des éprouvettes de même longueur. Il a exprimé le vœu que la longueur choisie soit, non celle de 10 centimètres adoptée par le Creuzot dans les essais qui ont servi de base à sa classification, mais celle de 20 centimètres stipulée depuis dix ans dans les conditions de la marine.

L'*allongement proportionnel à la rupture* qui est, dans les classements des aciers, la caractéristique du degré de dureté, est en effet différent pour le même acier quand on opère sur des barreaux de longueurs différentes, et il est d'autant plus grand que les barreaux sont plus courts.

Il est donc très-désirable qu'une entente générale s'établisse, que les essais deviennent immédiatement comparables et que les valeurs de la résistance, de l'allongement, de la striction, etc., qui servent à définir les diverses qualités d'acior, acquièrent une plus grande précision par l'adoption d'une longueur uniforme des barres d'essai.

Mais il peut se faire que ce vœu ne soit pas entendu ; certaines usines et certaines administrations persisteront peut-être à employer des éprouvettes n'ayant pas la longueur constante de 200 millimètres.

Il existe déjà, d'ailleurs, des séries d'expériences très-complètes, très-intéressantes à consulter et à comparer entre elles et pour lesquelles il a été fait usage de barres de longueurs, de sections et de formes différentes ; il peut se présenter même des cas spéciaux dans lesquels on devra faire les essais sur des pièces fabriquées, dont on ne pourrait pas extraire des barreaux ayant les dimensions prescrites.

M. Marché pense, en conséquence, que, tout en désirant qu'à l'avenir les essais soient faits d'une manière uniforme, on doit se préoccuper de relier entre eux les résultats des essais qui ne seraient pas effectués dans ces conditions.

M. Gautier ne parle dans sa note que des différences résultant de la longueur variable des tiges, mais la longueur n'influe pas seule sur l'*allongement proportionnel à*

la rupture, les dimensions et la forme même de la section transversale contribuent également à sa détermination.

De même que de deux tiges d'un même acier, de même section, mais de longueurs différentes, la plus courte donnera le plus grand allongement proportionnel, on constate que de deux tiges de même longueur et de sections différentes, celle dont la section est la plus grande donne le plus grand allongement proportionnel. On observe également que les allongements ne sont pas les mêmes pour des tiges de même longueur et de même section dont la forme est différente, c'est-à-dire qui sont les unes cylindriques et les autres de section rectangulaire, comme celles qu'on prépare pour les essais de tôles.

Pour trouver des relations simples entre les allongements observés dans des circonstances aussi différentes, il est utile d'étudier la manière dont se produit la déformation des tiges soumises à des efforts de traction supérieurs à celui qui correspond à la limite d'élasticité, de bien déterminer ce que c'est que l'allongement proportionnel à la rupture, ce qu'il représente réellement, et dans quelle mesure sa valeur est influencée par la nature de l'acier, les dimensions et la forme de la tige expérimentée.

M. Marché considère d'abord une tige cylindrique et analyse les diverses phases de la déformation produite sous un effort de traction croissant jusqu'à la charge qui en amène la rupture.

Il prend l'exemple d'une tige de $15{,}2^{m}/_{m}$ de diamètre et 96 millimètres de longueur extraite d'un bandage de wagon fabriqué à Seraing, et qui s'est rompue sous un effort de $50^{k}{,}4$ par millimètre carré de section primitive.

La longueur de la tige, après rupture, est devenue $120^{m}/_{m}5$, d'où un allongement proportionnel à la rupture : $\Delta = \frac{120{,}5 - 96}{96} = \frac{24{,}5}{96} = 25{,}5$ pour 100.

La résistance et l'allongement constatés définissent un acier analogue à l'acier n° 7 de la série A du Creuzot.

Avant l'essai on avait, par des coups de pointeau, divisé la tige en quatre parties égales, ayant 24 millimètres de longueur, et sur la tige rompue on constate que chacun de ces quarts de tige a pris les longueurs :

27 millim., avec un allongement de 3 millim., soit 12,5 pour 100.
28 millim., avec un allongement de 4 millim., soit 16,7 pour 100.
36 millim., avec un allongement de 12 millim., soit 50 pour 100.
(C'est la partie de la tige où s'est faite la rupture.)
$29^{m}/_{m}5$, avec un allongement de 5,5, soit 23 pour 100.

L'allongement final 25,5 pour 100 est donc la moyenne des quatre allongements partiels : 12,5, 16,7, 23 et 50 pour 100.

Mais il y a plus : en observant de près la tige rompue, on reconnaît que l'allongement a été différent en tous les points de la tige qui n'est plus cylindrique en aucune de ses parties.

Le diamètre de la tige, qui était à l'origine de $15^{m}/_{m}2$, n'est plus après la rupture que de $14^{m}/_{m}7$ aux extrémités de la tige, et de $10^{m}/_{m}5$ dans la section rompue, et de chaque extrémité à la section de rupture le diamètre décroît d'une manière continue.

Si on divise par la pensée la tige cylindrique primitive en tranches d'épaisseur dl,

chacun des petits cylindres ayant le diamètre d et l'épaisseur dl peut être supposé transformé, après l'action de la charge de rupture, en un cylindre de diamètre plus petit d' et de longueur $dl\,(1+\delta)$, δ étant l'allongement pour cent subi par les fibres de longueur dl dont se compose la tranche élémentaire considérée.

Si d'ailleurs on admet, ce qui est très-près de la vérité, que dans cette transformation le volume n'ait pas varié, on aura la relation :

$$dl \times d^2 = dl\,(1+\delta) \times d'^2;$$

d'où on tire :

$$\delta = \frac{d^2 - d'^2}{d'^2}.$$

En appliquant cette relation aux divers points de la tige prise comme exemple, on peut en chaque point, en mesurant le diamètre, déterminer l'allongement pour cent subi par la tranche élémentaire correspondante.

On voit alors que cet allongement, qui est de $\frac{\overline{15,2}^2 - \overline{14,7}^2}{\overline{14,7}^2} = 6,9$ pour 100 à l'extrémité de la tige, atteint à la section de rupture, dont le diamètre n'est plus que de 10,5 : $\frac{\overline{15,2}^2 - \overline{10,5}^2}{\overline{10,5}^2} = 110$ pour 100.

L'allongement produit varie donc de 7 à 110 pour 100, et l'allongement à la rupture mesuré sur toute la longueur et pris comme l'un des termes de la définition de l'acier considéré, soit 25,5 pour 100, est la moyenne d'une série continue de valeurs variant de 7 à 110 pour 100.

En examinant la courbe qui représente la loi des allongements aux divers points de la tige considérée, en même temps que le tracé qui donne les dimensions transversales de cette tige au moment de la rupture, on remarque que chacun des deux tronçons comprend trois zones distinctes :

1° La *zone d'attache*, dans laquelle les allongements produits sont faibles, en raison de l'action exercée par la masse de métal de dimensions plus fortes que celles de la tige, ménagés à chaque extrémité par l'application des charges. Cette action va en diminuant à mesure qu'on s'éloigne du point d'attache, elle s'oppose à la réduction de la section et par conséquent à l'allongement. Elle s'étend dans l'exemple considéré sur environ le septième de la longueur de la tige.

Dans cette zone la tige a pris à peu près la forme d'un tronc de cône, dont la grande base a 14m/m7 de diamètre et la petite 14 millimètres.

2° Une zone moyenne dans laquelle les allongements sont peu différents, et qui a par conséquent une forme à peu près cylindrique. L'étendue de cette zone dépend de la longueur de la tige.

3° La zone de *rupture ou de striction*, dans laquelle les allongements sont au contraire considérables et varient dans l'exemple considéré de 21 à 110 pour 100. La forme et l'étendue de cet étranglement sont très-importantes à étudier, et varient avec la dureté de l'acier et les dimensions transversales de la tige.

En comparant un certain nombre d'éprouvettes d'aciers différents ayant des longueurs et des diamètres variables, on peut constater les faits suivants :

a) L'étendue de la première et celle de la troisième zone sont les mêmes avec le même acier, pour des tiges de même diamètre variant peu avec leur longueur.

b) Elles sont proportionnelles aux diamètres des tiges.

c) La longueur de la première zone, zone d'attache, croît avec la douceur de l'acier.

d) Celle de la troisième zone, zone d'étranglement et de rupture, est au contraire d'autant plus courte que l'acier est plus doux.

Si l désigne la longueur primitive de la zone d'attache, Δ l'allongement moyen produit dans cette partie de la tige;

l_2 la longueur primitive de la zone moyenne, Δ_2 l'allongement correspondant;

l_3 la longueur de la zone d'étranglement, Δ_3 l'allongement moyen correspondant (dans l'exemple considéré 50 pour 100, moyenne de valeur 3 variant de 21 à 110 pour 100, allongement maximum Δ_2 correspondant à la section de rupture);

l la longueur totale;

Et Δ l'allongement proportionnel à la rupture (25,5 pour 100 dans l'exemple cité);

On aura la relation :

$$l_1 \Delta_1 + l_2 \Delta_2 + l_3 \Delta_3 = l \Delta.$$

Si on pose

$$l_2 = l - l_1 - l_3,$$

on a :

$$l_1 \Delta_1 + l_3 \Delta_3 + l \Delta_2 - (l_1 + l_3) \Delta_2 = l \Delta.$$

On a donc :

$$\Delta = \Delta_2 + \frac{l_1 \Delta_1 + l_3 \Delta_3 - (l_1 + l_3) \Delta_2}{l}.$$

Mais les longueurs l_1 et l_3 sont proportionnelles au diamètre primitif de la tige d, on a donc :

$$\Delta = \Delta_2 + m \times \frac{d}{l}.$$

Équation qui donne la valeur de l'allongement en fonction du diamètre, de la longueur de la tige et de la nature de l'acier définie par la valeur de Δ_2.

Dans l'exemple cité, on a :

$$\Delta_2 = 18\ \%\quad m = 47,5;$$

la relation devient donc, pour l'acier considéré :

$$\Delta = 18 + 47,5\ \frac{d}{l}.$$

On trouve ainsi pour $d = 16$ millimètres.

Avec une longueur	de 0,100	24	pour 100.
—	de 0,200	21	—
—	de 0,400	19.5	—
—	de 1,000	18.6	—

Si le diamètre était de 20 millimètres et la longueur de 200, comme dans la série d'essais examinée par M. Gautier, on trouverait un allongement de 22,75 pour 100.

La valeur Δ_2 est celle qu'on trouverait pour une tige de longueur infinie.

M. Marché insiste sur le caractère spécial de la valeur de l'allongement à la rupture qui est une *moyenne* variable pour un même acier avec les dimensions des barres éprouvées.

L'allongement Δ_2 se rapportant à la partie moyenne de la tige soustraite à la fois à l'influence des points d'attache et à celle de l'extension rapide de la zone de striction, serait un élément de définition de la nature de l'acier indépendant des dimensions des éprouvettes. Sa détermination serait d'autant plus exacte cependant qu'on opérerait sur des tiges plus longues.

Il faut enfin remarquer que la tranche élémentaire correspondant à la section de rupture, celle qui est réduite au plus faible diamètre est *la seule* pour laquelle le phénomène de l'allongement sous des efforts croissants et successifs s'accomplit d'une manière complète. C'est donc en étudiant la loi des allongements et des raccourcissements permanents de cette partie des tiges soumises à la traction et à la compression qu'on pourrait seulement trouver les éléments d'une théorie de la *déformation permanente*, applicable à la flexion et aux phénomènes dus aux chocs.

Comment se comporteront des rails, des essieux, des poutres, etc., suivant la nature de l'acier défini par une résistance et un allongement à la rupture donnés, sous l'action de chocs successifs amenant des flexions permanentes; telle serait, en effet, la question intéressante à résoudre pour les constructeurs et les chemins de fer qui y trouveraient les motifs raisonnés du choix qu'ils ont à faire entre les produits définis dans les divers classements des aciers qui leur sont offerts.

Les considérations précédentes sont les préliminaires d'une étude sur cette question que M. Marché se propose de présenter prochainement à la Société.

M. Gautier dans sa communication n'a pas exposé tous les développements qu'elle comportait, mais il est d'accord avec M. Marché en principe et adhère aux considérations qu'il vient de présenter.

Toutefois il fera observer qu'il est assez difficile de construire par points la courbe proposée par M. Marché pour représenter la loi des allongements successifs, et il croit qu'on pourrait se borner à considérer la corde qui relie les deux points extrêmes de cette courbe qui sont faciles à déterminer.

M. Marché répond qu'on pourrait, en effet, agir ainsi quand on compare plusieurs aciers essayés dans les mêmes conditions, parce que l'erreur commise n'aurait pas une grande influence sur les résultats de la comparaison, mais on peut aussi obtenir facilement une plus grande rigueur en prenant pour surface représentative de la résistance vive de l'acier, non plus le trapèze indiqué par M. Gautier, mais un double trapèze dont les côtés seraient des tangentes menées aux extrémités de la courbe.

M. le Président fait remarquer que la résistance vive dont il est parlé pour des barreaux très-courts résulte principalement de l'allongement de la zone de rupture; qu'elle est une indication de la qualité de l'acier qu'on éprouve, mais qu'elle ne doit pas être confondue avec la résistance vive que présenterait l'acier sous forme d'une longue barre. Dans ce cas, comme l'indique la formule de M. Marché, la valeur de $\frac{d}{l}$ devenant très-petite, l'allongement se réduit au terme Δ_2 dont la valeur devrait seule entrer dans le calcul de la résistance vive de l'acier.

M. le Président ajoute que les considérations faites par M. Marché ont une grande importance. D'après la théorie de Poncelet, en effet, les molécules sont maintenues

entre elles, à distance, par une force attractive et une force répulsive dont les intensités varient suivant deux lois différentes en fonction des distances; de sorte qu'en représentant ces intensités par des courbes, celles-ci se rencontrent aux points où les forces attractives et répulsives sont égales. Si la distance entre les molécules est agrandie l'attraction l'emporte sur la répulsion d'une quantité ou force représentée par la différence des ordonnées des deux courbes; or comme ces courbes devront se croiser de nouveau au moment où le corps devient liquide, il en résulte que cette force est d'abord croissante avec la distance jusqu'à un maximum au delà duquel elle décroît de plus en plus jusqu'à devenir nulle.

Appliquant cette théorie à la rupture des barreaux d'acier, on voit que, lorsque dans la zone d'étranglement l'allongement proportionnel a dépassé le maximum, la résistance de la section, et par conséquent la tension dans le barreau, va en diminuant, l'allongement d'ailleurs continuant toujours à se produire, et que dans les autres zones qui n'ont pas dépassé le maximum d'allongement, comme les sections éprouvent des tensions de moins en moins grandes, il se produit sur elles-mêmes un retrait plus ou moins rapide. Il en résulte que le rétrécissement de la section, au point de la rupture, dépend de la ductilité de l'acier et non de sa résistance finale.

M. Marché indique que plusieurs faits semblent corroborer les remarques faites par M. le Président relativement à la théorie de Poncelet. Sur plusieurs tiges, en effet, on a constaté après l'essai des renflements en certains points, ce qui tendrait à faire voir qu'il y a eu là refoulement de la matière.

Quant à ce qui concerne la flexion des aciers, les conditions de résistance sont très-différentes de celles relatives à la traction. Ainsi il résulte d'une très-belle série d'essais faits par M. Bauschinger sur les aciers de Ternitz que la limite d'élasticité et l'effort de rupture ont une valeur beaucoup plus grande.

M. Gillot se demande si l'on a tenu compte de l'influence du martelage ou du laminage plus ou moins énergique sur les pièces essayées.

M. Marché répond que les essais sont généralement faits sur des aciers qui proviennent de pièces fabriquées d'une manière analogue, et qui sont, par conséquent, tout à fait comparables entre eux.

M. Euverte présente quelques observations sur l'intéressante communication de M. Marché.

Il pense que la comparaison qu'on pourrait faire entre les résultats obtenus par les essais à *la flexion* et par ceux à *la traction* ne peut pas être considérée comme absolument rigoureuse. Dans les essais à la traction on est arrivé, grâce à des instruments très-perfectionnés, à constater d'une manière très-exacte les allongements sous charge et au moment de la rupture; on est également arrivé à déterminer avec une grande précision les charges qui ont amené la rupture, et ces charges sont rapportées par un calcul très-simple à la section de la pièce essayée.

On ne voit donc aucune chance d'erreur, étant donnés de bons instruments d'épreuve, dans la détermination des résultats d'essais à la traction.

Il n'en est pas de même lorsqu'on agit à la flexion. Les allongements sous charge et à la rupture sont d'une constatation fort difficile; c'est uniquement au moyen de calculs compliqués que les allongements et charges de rupture peuvent être ramenés à l'unité de section et de longueur; il est donc réellement impossible d'établir une comparaison sérieuse entre les deux modes d'essai, et encore plus impossible de remplacer l'un par l'autre.

M. Marché a insisté sur l'influence du diamètre lorsque l'essai de traction est fait sur une barrette cylindrique; cette observation est sérieuse, et il est bien évident que le diamètre a, comme la longueur, son influence sur les résultats.

Quant à la comparaison établie entre les barrettes à section rectangulaire et celles à section circulaire, M. Euverte pense que les différences relevées par M. Marché entre les essais faits par M. Barba, à Lorient, et la série du Creuzot, tiennent principalement à ce que les essais de M. Barba sont faits sur des barrettes de 20 centimètres de longueur, tandis que la série du Creuzot a été faite sur 10 centimètres. Ceci justifie complétement l'observation présentée par M. Gautier, et il serait très-utile d'arriver à cet égard à une certaine uniformité dans les dimensions des barrettes soumises aux épreuves.

M. Marché croit que les différences des essais de M. Barba avec la série du Creuzot ne tiennent pas seulement aux longueurs différentes des barrettes, car en tenant compte de ces longueurs, et en ramenant par la formule indiquée les résultats à ceux qui seraient donnés par des échantillons de longueur uniforme, on trouve encore des différences sensibles qui tiennent sans doute à la forme de la section.

M. Euverte fait remarquer qu'on peut bien, par les déductions très-ingénieuses que M. Marché vient d'indiquer, arriver à une formule qui tienne compte des variétés dans la longueur, le diamètre, etc. Mais, en pareille matière, la comparaison *directe* d'épreuves faites dans *des conditions identiques* sera toujours préférable à l'application de calculs dans lesquels il reste forcément une place à l'hypothèse.

M. Euverte, envisageant ensuite d'une manière plus générale la question des classifications des produits d'acier, exprime la pensée que le moment n'est pas encore venu où les producteurs d'acier pourront avoir une classification nette et précise de leurs produits.

La difficulté serait déjà considérable si, comme on l'a cru pendant longtemps, les qualités de l'acier n'étaient modifiées que par la présence du carbone à doses plus ou moins variables.

Mais des recherches récentes, suivies d'expériences déjà nombreuses, ont montré que les qualités de l'acier peuvent être notablement modifiées par la présence de certains corps, tels que le Manganèse, le Silicium, le Phosphore, etc., etc.; on comprend dès lors que, jusqu'au jour où l'influence de ces différents éléments sera bien connue, toute classification définitive deviendra impossible.

Pour le moment donc, les métallurgistes doivent poursuivre leurs recherches, constater les faits, et ultérieurement se dégageront d'elles-mêmes les conséquences naturelles et logiques des faits ainsi constatés.

M. Marché et plusieurs autres Membres font observer qu'il ne suffit pas de fournir au consommateur d'acier la qualité et la nature de produit qu'il peut désirer, mais qu'il faut aussi l'éclairer sur ce qu'il peut demander; il est bon de lui définir l'acier et de lui dire sur quel degré de résistance et sur quelle limite d'élasticité il peut compter.

M. Euverte dit qu'il est difficile actuellement de constater cette limite, et la nécessité d'expérimenter avec des instruments très-précis se montre de jour en jour plus impérieuse.

C'est ainsi que le Creuzot ayant à sa disposition, depuis un certain temps, des appareils d'essai permettant de constater, d'une manière très-précise, les allongements sous charge, a fait une série d'expériences, d'où il semble résulter des modi-

fications importantes dans les idées reçues au sujet de la valeur des coefficients d'élasticité.

Il paraîtrait, notamment, résulter de ces expériences que pour une même charge et avant la limite d'élasticité, les allongements sont sensiblement les mêmes pour les aciers durs, les aciers doux, les fers de différentes qualités, les fontes, etc., etc.

C'est là un fait important, sur lequel les études continuent, et qui ne pouvait être mis en lumière que par des appareils d'épreuve très-perfectionnés.

MM. Gautier, Marché et Rey confirment que, d'après les expériences qui sont à leur connaissance, la composition et le degré de dureté des aciers paraissent avoir peu d'influence sur le coefficient d'élasticité.

M. Euverte fait encore remarquer que d'un autre côté, grâce à des épreuves très-répétées, il a été constaté, dans les usines de Terrenoire, que le Manganèse et le Phosphore exercent sur les qualités physiques des aciers une influence très-considérable. Les tableaux donnant ces résultats d'épreuves seront prochainement publiés; il suffira de dire, dès aujourd'hui, que le Manganèse allié à l'acier, dans de certaines proportions, augmente la résistance à la traction, sans diminuer sensiblement les allongements, et que de plus il augmente, pour l'acier, la faculté de trempe.

Les aciers phosphoreux convenablement travaillés présentent également cette qualité d'avoir une résistance plus grande pour un même allongement, et ont de plus le caractère spécial de ne point prendre la trempe.

M. Euverte insiste particulièrement sur ces faits importants, récemment constatés, et qu'il convient d'expérimenter encore avant de les considérer comme définitivement acquis. Il fait remarquer que lui-même, au mois de février 1874, dans une réunion des ingénieurs civils, avait indiqué que le manganèse n'avait aucune action *directe* sur les propriétés physiques des aciers. Une année à peine s'était écoulée, que cette opinion était complétement modifiée par suite de nouvelles recherches. Il y a un an, on aurait considéré comme impossible à produire, avec sécurité pour l'emploi, des aciers à 60 kil. et 20 pour 100 d'allongement; aujourd'hui cela peut être considéré comme possible, à la condition qu'on admette des aciers prenant la trempe.

Il paraissait également fort difficile aux industriels de produire, à volonté, des aciers plus ou moins sensibles à la trempe, tout en conservant leurs facultés de résistance et d'allongement; tout cela devient possible aujourd'hui par les combinaisons des divers éléments, carbone, manganèse, etc., qui peuvent influer sur les propriétés physiques des aciers.

C'est là un résultat fort important de la méthode expérimentale, résultat qui se complétera de jour en jour en suivant résolûment, et avec persévérance, la voie dans laquelle on est entré dans ces dernières années.

Ce qu'il faut, pour le moment, et avant d'arriver à une classification définitive des aciers, c'est que les différentes classes de consommateurs exposent leur *desideratum*, afin d'indiquer aux producteurs dans quel sens ils doivent diriger leurs recherches. Ce mouvement est déjà commencé et paraît devoir s'accentuer. L'artillerie, la marine, les chemins de fer, commencent à asseoir leurs idées sur les conditions de résistance, d'allongement, de trempe, qu'ils doivent demander à l'acier. Ces idées ont subi bien des modifications depuis quelques années; c'est ainsi qu'après avoir considéré la douceur et l'allongement comme des qualités exclusives de toutes autres considérations, on en est venu à tenir grand compte de la limite

d'élasticité. L'artillerie, notamment, est entrée dans cette voie, et il paraît bien évident qu'elle est dans le vrai.

La marine, au contraire, voulant appliquer les tôles et cornières d'acier à des chaudières et à des travaux de construction fort difficiles, nécessitant un travail considérable à chaud, a imposé au métal la condition d'avoir une extrême douceur et de ne point prendre la trempe; c'est là évidemment la véritable voie pour le cas particulier, et le problème étant bien posé, la solution a été obtenue, non sans peine, il est vrai, mais enfin les producteurs ont démontré qu'ils étaient en état de donner à leurs produits les qualités les plus diverses.

Encore quelques efforts dans cette voie et l'on arrivera à avoir, en face des différents cas particuliers de la consommation, la production correspondante.

Lorsqu'on sera arrivé à ce résultat, lorsque chaque qualité spéciale, produite en vue d'un emploi déterminé, aura été étudiée dans ses propriétés chimiques et physiques, on aura tous les éléments d'une classification rationnelle et définitive. Mais il faut bien reconnaître aujourd'hui que tout ce qu'on a fait jusqu'à ce jour est absolument incomplet, et ne donne pas une idée juste de ce que peut et doit être la production de l'acier.

M. Gautier, revenant sur les différences que l'on constate entre les essais à la flexion et ceux à la traction, dit que ces différences pourraient provenir de l'emploi des formules qui ne répondent pas sans doute au cas de la rupture.

M. le Président fait observer qu'en effet les formules ne sont justes et applicables que dans la supposition que la limite d'élasticité n'est pas dépassée.

Il remercie M. Marché de sa communication, qui a donné lieu à la discussion très-intéressante qui vient de se produire. Il exprime le désir que de nouveaux faits et de nouvelles expériences fassent prochainement le jour le plus complet sur cette question.

MM. Bourson, Créase, Georgin, Imbert, Rockchiffe, Sebillot et Walker ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 5 Novembre 1875.

Présidence de M. Lavalley.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 octobre est adopté.

La parole est donnée à M. de Cœne pour sa communication sur la construction et l'exploitation des grandes gares à marchandises en Angleterre.

Au moment où l'on parle de modifier le service des marchandises à Paris, M. de Cœne a pensé qu'il y avait opportunité à parler des gares à marchandises.

Appelé plusieurs fois en Angleterre pour des études spéciales sur les chemins anglais, il avait été depuis longtemps frappé de la différence profonde qui existe entre nos gares et celles des Anglais, la vivacité imprimée à tous les services, la rapidité d'enlèvement des marchandises dans les gares, et particulièrement le temps très-court qui sépare la livraison de la marchandise dans la gare d'expédition et la livraison de cette même marchandise au domicile du destinataire.

Dans une note communiquée à la Société en décembre 1871, au moment le plus aigu de la crise des transports, M. de Cœne avait exposé que la cause de cette crise était due à la lenteur de l'enlèvement, et il avait exprimé la pensée qu'il était utile de modifier l'article 52 du cahier des charges des Compagnies, qui laisse la faculté au commerce de recevoir les marchandises en gare et de les y laisser surtout pendant longtemps; que cette faculté était la cause principale des inconvénients dont le pays souffrait à ce moment.

Revenant encore sur cette question, dans sa réponse à l'enquête parlementaire des chemins de fer, M. de Cœne exprimait la même opinion.

Cette réponse communiquée à la Société, en 1873, a été renvoyée par elle à une Commission qui était chargée de l'étudier et d'organiser une discussion sur ce sujet. M. de Cœne pense que cette question est une des plus graves qui puisse être examinée, et il espère qu'elle voudra bien la mettre en discussion prochainement.

Lorsqu'on étudie les chemins de fer en Angleterre, et lorsqu'on les compare aux chemins de fer du continent, un point duquel il faut tenir grand compte, c'est le trafic énorme des chemins de fer anglais, les habitudes du public, le faible parcours des marchandises, l'absence de l'octroi et la liberté absolue dont jouissent les Compagnies anglaises, au point de vue du camionnage. Les Compagnies anglaises ont la faculté absolue de faire ou ne pas faire le camionnage, de recevoir en gare les marchandises ou de faire les expéditions de domicile à domicile.

La liberté laissée aux Compagnies anglaises a une importance considérable et leur donne des facilités beaucoup plus grandes pour imprimer aux divers services, dans les gares, la direction qui leur convient sans que le public puisse venir les troubler.

Les villes anglaises, en raison de la division des familles qui occupent généralement une seule maison, sont très-étendues, l'agglomération de la population est beaucoup moins grande que dans nos villes françaises. Dans les grandes villes, chaque Compagnie a plusieurs gares de marchandises. Cette multiplicité des gares de marchandises a pour but de diminuer les transports par camions, en amenant les marchandises le plus près possible de l'endroit où elles doivent être consommées.

Aussi, malgré les dépenses énormes nécessitées pour l'expropriation des terrains ou par les travaux d'approche, les Compagnies anglaises ne reculent pas devant les sacrifices les plus considérables, pour amener les marchandises le plus près du centre.

Ainsi par exemple :

A Liverpool, la Compagnie de London and North-Western a six gares de marchandises.

La Compagnie de Lancashire et Yorkshire, trois; le Middland, deux; le Great-Western, une gare.

A Londres, la Compagnie de Londres North-Western a, à elle seule, cinq gares

de marchandises. L'une de ces gares est au centre de la Cité, à 500 mètres de l'hôtel de ville (Mansion-House).

Quatre des gares du London et North-Western à Liverpool sont placées sur le quai, rive gauche de la Mersey, et distantes les unes des autres de 2,500 mètres environ ; les deux autres sont sur la rive droite.

A Paris, les gares de la Chapelle, d'Ivry, de Bercy et des Batignolles sont à de grandes distances du centre de la ville, et les gares nouvelles qui ont été annexées aux anciennes, au lieu de se rapprocher du centre, tendent au contraire de plus en plus à s'en éloigner.

A l'origine, la ligne de Lyon en avait une seule, celle de Bercy ; à cette gare on en a adjoint successivement deux autres, la gare de la Rapée et celle de Nicolaï, qui toutes les deux ont été construites en un point plus éloigné. Or, à cette augmentation des distances correspond l'augmentation des dépenses et les difficultés de camionnage. Tandis qu'il est extrêmement facile de faire parcourir un ou deux kilomètres de plus aux trains de marchandises, sans dépenses appréciables, un ou deux kilomètres de parcours en plus pour le camionnage créent des difficultés graves et coûteuses pour les Compagnies. Les Compagnies anglaises entrent au contraire résolûment dans la voie du rapprochement, et plusieurs gares se construisent actuellement au centre de la Cité, pour arriver à diminuer jusqu'à la plus extrême limite les frais de camionnage.

Il est juste, toutefois, de faire observer que jusqu'à présent les Compagnies anglaises, dans ces gares centrales, usant de leur liberté, ne font pas d'arrivages, ni d'expéditions en gare ; que tout le trafic, dans ces gares particulières, a lieu de domicile à domicile, de manière à ce que l'enlèvement des marchandises se fasse à mesure de leur arrivée. La marchandise d'expédition collectée, dans divers bureaux de Londres, est de là portée à la gare où elle est chargée immédiatement ; les écritures faites dans les bureaux de la ville permettent jusqu'à un certain point de gagner du temps.

Aux arrivages, la marchandise aussitôt arrivée est à la minute mise dans les camions et portée à domicile ; il est vrai de dire que l'absence d'octroi est d'un grand secours pour les gares anglaises, puisque l'on peut ainsi enlever les marchandises aussitôt l'arrivée en gare, et sans qu'il soit nécessaire de faire une reconnaissance spéciale comme celle qui est exigée chez nous. J'ai la conviction que les difficultés que l'on rencontre dans les gares françaises les dépenses excessives auxquelles cette reconnaissance entraîne, le ralentissement opéré dans les manutentions, auront pour effet d'arriver à modifier les agissements de l'octroi, sinon à supprimer l'octroi des villes, qui cause au commerce et aux Compagnies de graves préjudices en ralentissant leurs opérations. Je suis convaincu également que si le trafic prenait le développement des gares anglaises, la suppression de l'octroi deviendrait une nécessité absolue.

Je ne saurais trop insister sur cette aggravation de nos charges en France à cet égard, et je crois que lors de l'enquête de 1860, M. Moussette, qui avait fait la comparaison des gares anglaises et des gares françaises, dans sa critique très-juste de l'étendue des gares françaises, ne s'était pas assez rendu compte de l'influence de l'octroi des villes, de cette douane intérieure, un des plus cruels ennemis des Compagnies par le ralentissement obligé qu'il cause à leurs opérations.

La première question à étudier chez nous sera donc celle de pallier l'inconvénient des formalités de l'octroi, et comme je l'ai dit déjà dans une autre occasion,

de voir s'il n'y a pas moyen de réduire la reconnaissance à celle faite par les employés des Compagnies qui pourront être chargés d'une délégation spéciale pour cet objet.

Le régime du trafic de domicile à domicile n'est pas général partout en Angleterre, comme le dit M. Jacqmin dans son ouvrage sur les chemins de fer (p. 464, t. Ier). La concurrence des chemins de fer anglais, les nécessités du commerce et le désir de le mieux servir, commencent à obliger les Compagnies à conserver les marchandises d'arrivage dans leurs gares. Il arrive en effet qu'un commerçant, lorsqu'il fait des expéditions vers un point, n'a pas toujours vendu la marchandise qu'il expédie; il espère que, lorsque cette marchandise sera arrivée à la gare, il pourra trouver à la placer, à la vendre; mais pour la vendre, il faut qu'il la fasse voir, qu'il la présente à sa clientèle, et il est donc de toute nécessité que cette marchandise attende quelques jours, car si le commerçant était obligé de la transporter hors de la gare, il aurait à payer un double camionnage, une double manutention ; de là des frais considérables, surtout dans les grands centres, et par suite des pertes très-sensibles pour le commerce.

Aussi les Compagnies anglaises ont-elles maintenant la tendance dans plusieurs endroits, à Londres et à Liverpool en particulier, à offrir au commerce de vastes magasins à étages pour recevoir la marchandise et pour la conserver quelque temps, laissant ainsi aux négociants le temps de pouvoir trouver un preneur.

En Angleterre, dans les grands centres, cette idée se développe de plus en plus; à Liverpool, par exemple, il y a plusieurs gares qui se trouvent être en même temps un dépôt de marchandises. Ce dépôt est un moyen de crédit pour la marchandise qui y est déposée, comme dans un magasin public; de sorte que cette marchandise supporte moins de pertes, sa valeur pouvant au besoin ne pas supporter de perte d'intérêts par le fait de son transfèrement à des tiers qui deviennent propriétaires par le seul fait du transfert de la lettre de voiture émanant de la Compagnie.

Les gares anglaises, dans certains cas spéciaux, tendent donc à devenir les analogues des docks; ainsi, tandis que les docks qui bordent les bassins reçoivent les marchandises importées, les mettent à l'abri, les conservent, les warrantent, de même les gares des chemins de fer doivent devenir à leur tour les abris, les dépositaires, et au besoin les garants des transactions entre négociants.

Sur le continent rien ne peut s'opposer à ce qu'il en soit ainsi.

Les gares anglaises peuvent se classer en deux catégories : les gares de passage et les gares d'entrepôt.

Mais dans les deux systèmes on recherche toujours le maximum de rapidité dans la manutention, telle est la règle absolue, et pour assurer cette rapidité, la concentration du travail sur une surface aussi restreinte que possible. On a accumulé sur certains points les systèmes les plus perfectionnés et les plus rapides pour la manutention des marchandises; d'où il résulte l'utilisation la plus complète de la surface occupée, et des wagons qui sont, en Angleterre, considérés avec juste raison comme de détestables magasins, et qui aussitôt arrivés sont immédiatement déchargés pour être réexpédiés de nouveau.

Multipliant ainsi la faculté productrice du chemin de fer qui dépend de la vitesse imprimée au mouvement des wagons, vitesse qui est l'élément le plus puissant de la rapidité des transports en chemin de fer, car il est évident que du moment où les wagons sont constamment en mouvement ils produisent un effet utile beaucoup

plus considérable et qui n'a de limite que la vitesse que l'on peut imprimer à leur circulation sur les voies ferrées; il est bien certain que cette activité toujours constante comparée à la nôtre, ou souvent nos wagons servent de magasins, ou nous différons les trains et les wagons chargés parce que nous ne pouvons pas les décharger, il est bien évident que la capacité utile de nos chemins est bien différente des chemins anglais quand le trafic prend une certaine activité sous l'influence des productions et des échanges à certaines époques de l'année.

Avant d'entrer dans la description des gares anglaises et dans la description des divers modes employés pour les manutentions de ces gares, il est un point sur lequel il est nécessaire d'appeler l'attention des ingénieurs. Dans un chemin de fer, tout devant concourir au même but, les opérations se lient étroitement les unes aux autres et il n'est pas possible de faire une étude d'un détail sans consulter en même temps l'ensemble des opérations, pour savoir si ce détail ne rencontre pas de difficultés dans le but général que l'on poursuit.

Ainsi les machines et leur poids sont liés étroitement à la constitution de la voie, à la dimension des rails, au nombre de leurs supports, elles sont étroitement liées aussi à la raideur des courbes, à la déclivité du chemin. La forme du matériel roulant est une donnée qui dépend absolument de la forme des gares et de la nature des objets transportés, de la manière dont la manutention s'opère dans les gares.

En France, jusqu'à présent, les manutentions à la main et les gares d'une étendue considérable n'ont pas fait sentir la nécessité d'étudier un matériel destiné à satisfaire aux exigences que créerait la manutention faite par les systèmes mécaniques.

Les wagons couverts en France sont nombreux; or ces wagons sont absolument impropres à l'usage des grues; il faudra, pour en arriver là, que nous réformions nos idées sur cette construction. A l'avenir, en prévision de ces changements, il ne faudra plus construire un seul wagon fermé par le dessus; il faudra que nos wagons sans exception puissent s'ouvrir à la partie supérieure pour que le crochet des grues puisse venir y prendre la marchandise, car, s'il en était autrement, il faudrait fractionner le service de la manutention et arrêter le service des machines devant certains wagons, ce qui, en immobilisant le travail mécanique, rendrait le service impossible, puisqu'il détruirait l'uniformité dans la manutention des marchandises.

Ainsi, la première mesure à prendre avant toute autre, si on se décide à employer la méthode anglaise, et il faudra y arriver avec le développement du trafic, c'est de ne plus faire de wagons ne pouvant pas s'ouvrir par le haut.

Les wagons fermés, analogues aux wagons K de la Compagnie de l'Ouest, devront avoir sur la toiture, comme en Angleterre, une trappe glissante qui permette au crochet des grues l'accès dans l'intérieur du wagon.

Je crois devoir insister d'une manière spéciale, sur une étude attentive du matériel de transport pour répondre aux exigences de la manutention mécanique, qui doit s'imposer de plus en plus dans le service intérieur des gares de chemins de fer.

Il y a en effet deux causes prédominantes qui augmentent d'importance chaque jour, et desquelles nous devons nous inquiéter pour préparer la transformation radicale de nos opérations.

La première cause est l'abondance du trafic qui se développe chaque année; cette abondance doit avoir pour effet, d'après les observations très-judicieuses de M. Moussette, d'étendre indéfiniment les gares et de les éloigner de l'intérieur des villes.

Or cette extension indéfinie, outre qu'elle devient pour les compagnies une diffi-

culté considérable, en ce sens qu'il sera bientôt presque impossible, à moins de dépenses énormes d'acquisition, de trouver les emplacements nécessaires, cette extension a l'inconvénient très-sensible déjà de disperser les services sur une énorme étendue, de rendre la surveillance très-difficile et d'empêcher l'emploi d'engins mécaniques pour le déchargement.

La seconde cause qui nécessitera la transformation de nos opérations, c'est le prix croissant de la main-d'œuvre et sa rareté. Cette cause, qui déjà influe beaucoup sur le prix de revient des manutentions, doit s'accuser chaque jour davantage, et sera une nécessité très-prochaine pour les gares des grandes villes ; et le seul moyen d'atténuer les dangers et les inconvénients d'une pareille situation, c'est de réduire les opérations manuelles par l'emploi des appareils mis en mouvement par la vapeur. Dans toutes les industries depuis longtemps cette tendance se développe, chaque jour on cherche à diminuer la main-d'œuvre pour la remplacer par le travail des machines. Cette préoccupation s'étend même à des travaux qui, jusqu'à présent, avaient paru devoir échapper à l'emploi des machines : dans les terrassements, dans les travaux de draguage de l'isthme de Suez, dans les travaux des tunnels du mont Cenis et du Saint-Gothard, dans la fabrication du fer et de l'acier, on commence à en faire le plus grand usage. La crise des charbons aurait été peut-être moins aiguë, et se serait perpétuée moins longtemps qu'elle ne l'a fait, si on avait pu substituer à la main-d'œuvre des machines pour l'abattage du charbon, et si nous sommes bien renseignés on recherche, en ce moment, le moyen de trouver les machines propres à remplacer en partie les ouvriers.

Pour les chemins de fer où la manutention augmente chaque jour d'importance et proportionnellement au trafic, il n'est plus possible de penser que l'emploi des appareils mécaniques ne devienne une nécessité prochaine au point de vue de l'économie. L'économie bien entendue des transports l'exige également ; s'il est facile de faire parcourir sur rails quelques kilomètres supplémentaires, il est très-onéreux, très-difficile et très-coûteux de faire les camionnages sur ces quelques kilomètres, et la tendance des compagnies doit être de rapprocher les gares des marchandises des grands centres à desservir. Et la construction des gares au centre des villes, dans les emplacements où le terrain est à un prix élevé, ne peut être résolue que par l'utilisation, à plusieurs étages, des terrains mis à la disposition des Compagnies.

Les distances considérables que les marchandises ont à parcourir sur nos réseaux nécessitent souvent des transbordements aux points de contact de ces réseaux. Or, si souvent on recule devant la nécessité des transbordements, cela tient à l'absence de modes perfectionnés de transbordement, et on ne peut le faire que par l'emploi le plus complet des engins mécaniques de toutes sortes.

Ainsi donc, et nous croyons l'avoir démontré, tout concourt à ce que les moyens mécaniques de déchargement deviennent une des préoccupations d'un avenir très-prochain si on ne veut pas voir les exploitations grevées de dépenses énormes, non pas seulement par l'emploi de la main-d'œuvre aux déchargements, mais par l'impossibilité de la trouver et de rendre immédiatement disponibles les wagons qui, par notre méthode d'exploitation, sont mal utilisés en ce sens que les wagons restent souvent plusieurs jours chargés et différés dans les gares faute de pouvoir les décharger [1].

1. Pour préciser les inconvénients de notre système français, il convient de citer les résultats comparatifs des deux méthodes. Des chiffres de 1872 il ressort qu'en Angleterre

Il se place ici une observation qui fait sentir le besoin d'avoir des engins mécaniques; le travail à la main exige des surfaces dix et vingt fois plus considérables que le travail mécanique; avec une machine on peut sur quelques mètres, en accélérant la vitesse, faire dix et vingt fois plus de travail. Avec des hommes la vitesse des manutentions ne peut être augmentée qu'en étendant beaucoup la surface du déchargement. Ainsi là où il suffira de 20 mètres pour le déchargement de 250 tonnes par jour et par une grue, si on veut le faire par des hommes il faudra un espace 7 ou 8 fois plus grand, dépenser 7 ou 8 fois plus.

Pendant qu'une machine et son mécanicien sont prêts à fonctionner, les hommes sont difficiles à trouver, et si l'on ne veut pas courir le risque d'en manquer il faut en conserver un plus grand nombre que les besoins réels de la gare. Une opération est-elle terminée dans le milieu du jour? on ne peut renvoyer les hommes; au contraire, la grue arrêtée, la dépense cesse à l'instant. Les machines ont encore ce grand avantage, c'est qu'elles impriment au travail une activité que ne possède jamais le travail manuel, cela est un principe dont l'industrie en général donne l'exemple chaque jour; les hommes causent, s'arrêtent, la machine ne s'arrête jamais.

Il existe, en France, quelques rares exemples, pour les déchargements, qui font voir le merveilleux avantage de l'emploi de la vapeur et de la force hydraulique; en Angleterre ces exemples sont fréquents. Mais ce qui existe chez nous montre ce que l'on peut obtenir; il suffira d'un nouvel effort pour arriver à développer partout cette activité et cette rapidité indispensables à l'avenir de nos chemins de fer français.

Il est utile d'insister sur ces détails parce que dans plusieurs circonstances, si les appareils mécaniques ont été adoptés et ont été abandonnés, ce n'est pas à cause des appareils, mais par suite d'erreurs commises dans leur application, et parce que l'on n'a pas su donner au système le complément qui lui est nécessaire.

Dans les gares de Bercy et de la Rapée, par exemple, on a établi, il y a plusieurs

on a transporté 179 millions de tonnes, à une distance moyenne de 58 kilomètres; qu'en France, on a transporté 53 millions de tonnes à une distance moyenne de 148 kilomètres.

Les Compagnies anglaises ont employé....................	301,000 wagons.
Les Compagnies françaises ont employé....................	141,000 —

Chaque wagon anglais a donc fait comme tonne kilométrique

$$\frac{179{,}000 \text{ millions}}{301{,}000 \text{ wagons}} \times 58 = 34{,}624 \text{ tonnes};$$

Chaque wagon français a fait comme tonne kilométrique

$$\frac{53{,}000 \text{ millions}}{141{,}000 \text{ wagons}} \times 148 = 55{,}500 \text{ tonnes}.$$

Mais chaque voyage du wagon anglais étant de 58 kilomètres, ce wagon s'est arrêté cinq fois, tandis que le wagon français, qui parcourait 148 kilomètres, ne s'est arrêté que deux fois.

Or, en comptant une perte de un jour par arrêt, le wagon anglais a perdu cinq jours, le wagon français deux jours. De sorte que la tonne effective des wagons anglais est de $34{,}620 \times 5 = 173{,}100$, et la tonne effective du wagon français est de $55{,}500 \times 2 = 111{,}000$; c'est-à-dire que, pour faire le trafic anglais avec la méthode française, il faudrait 1/3 en plus de wagons, soit 100,000 wagons à 2,500 fr. = 250 millions, ou à 10 pour 100 une dépense annuelle supplémentaire de 25 millions.

années, des engins mécaniques à vapeur et à pression d'eau; ces appareils ont été détruits et on en a abandonné l'usage.

En recherchant la raison de cet abandon, qui a eu pour conséquence de faire perdre les millions que cette installation avait coûtés, on a reconnu que l'échec éprouvé tenait à diverses causes : la première, la plus importante, à la disposition défectueuse des voies de la gare où les appareils avaient été établis. Cet échec tenait aussi à l'emploi de wagons couverts ou ne se découvrant pas par le haut, et ne permettant pas au crochet des grues de pénétrer dans les wagons; peut-être aussi à l'inexpérience des agents chargés de la manœuvre. Peut-être eût-il été utile, au début, d'amener dans cette gare des équipes d'ouvriers anglais pour former nos ouvriers, car il s'agissait là de modifier la routine et des habitudes contractées depuis longtemps.

Si ailleurs l'emploi des machines a donné les résultats qu'on vient d'énumérer, c'est parce que, en même temps que l'on chargeait rapidement les wagons, on s'efforçait de disposer les voies de manière à fournir un travail constant à l'activité des machines, en remplaçant instantanément, pour ainsi dire, les wagons à charger sans faire perdre de temps aux machines.

Les wagons vides succèdent sans interruption aux wagons chargés et les machines n'éprouvent jamais d'intermittence, les changements et les plaques de dégagement sont rapprochés de telle sorte qu'un wagon aussitôt chargé est remplacé par un vide et le travail des grues ne souffre pas une minute d'interruption.

Dans les gares de Bercy et de la Rapée, au contraire, les voies de déchargement sont divisées par fractions de 150 mètres de longueur, de sorte que les wagons ont à parcourir cette distance de 150 mètres avant d'arriver à la grue, ce qui fait que celle-ci ne fonctionne plus que par intermittence, et les grues deviennent plus coûteuses que le travail manuel; en un mot, au lieu d'avoir de nombreuses sorties en un petit espace, on a de grands espaces sans sorties.

L'étude du plan de la gare de la Rapée, et sa comparaison avec les gares anglaises dont cette gare a voulu être la copie, font connaître que si les mêmes résultats n'ont pu être obtenus, c'est parce qu'il a manqué l'élément principal, la vitesse de dégagement des véhicules.

C'est un sujet sur lequel il faut vivement insister, car il s'agit de déraciner des préventions qu'a soulevées une faute commise, et l'on sait combien il est difficile de faire revenir l'opinion sur une question, quand cette question, traitée au début d'une façon imparfaite, a été la cause d'un échec. Combien de choses excellentes, et qui depuis ont trouvé leur application sur la plus large échelle, sont restées longtemps sans application parce que les débuts avaient été mauvais. Le chemin de fer et les bateaux à vapeur en sont un exemple frappant entre tous; sans le jet de vapeur la locomotive était impuissante, et ce simple détail, tant qu'il n'a pas été appliqué, n'a pas permis aux chemins de fer d'exister.

Les applications mécaniques au déchargement entraînent après elles des dispositions de gares, des dispositions de wagons, sans lesquelles il n'est pas possible de songer à leur emploi, et il n'est pas possible d'appliquer les méthodes rapides des Anglais, sans au préalable modifier et le matériel et la disposition des gares. Ces deux conditions sont absolument nécessaires, et tous ceux qui essaieront d'appliquer le système anglais avec les dispositions des gares françaises échoueront nécessairement, et toutes leurs tentatives seront vaines; aux applications mécaniques il faut des dispositions spéciales de gares.

Aussi longtemps que l'on voudra appliquer le système anglais à des gares françaises, on peut être certain que ce sera de l'argent dépensé en pure perte; il faudra absolument, si l'on veut réussir, prendre les gares anglaises de toutes pièces et y appliquer des méthodes semblables. Et on aura non-seulement des avantages au point de vue de la vitesse, mais encore on aura des avantages au point de vue du capital engagé.

L'intérêt des Compagnies paraît être de rapprocher les gares du centre des villes où le terrain a un prix très-élevé, puisqu'il y a à cela des avantages qui se chiffrent par des prix de camionnage qui peuvent varier de 2, 3 et même 4 fr. par tonne de marchandise. Si on considère que les chemins de fer transportent à un prix plus élevé que les canaux, que l'avantage principal que peut présenter le chemin de fer c'est la rapidité, il est facile de reconnaître que les chemins de fer ont le plus grand intérêt à améliorer les deux éléments qui sont leur avantage : la vitesse et la régularité. Or, pour la vitesse, les longs camionnages sont de véritables obstacles, car la vitesse est directement intéressée à la faible distance de transport en camion, et c'est lorsque cette distance est faible que les Compagnies ont le plus de facilité à enlever rapidement les marchandises.

Il est un fait qui se révèle de suite dans l'examen comparatif des exploitations françaises et anglaises : c'est que, en Angleterre, on s'efforce surtout à obtenir la vitesse. En cherchant à quelle cause il faut attribuer cette tendance des Anglais, qui se traduit en résumé par une dépense plus forte pour l'exploitation, on voit que cette tendance tient à une cause toute spéciale facile à expliquer : en Angleterre, les questions de crédit et de temps ont toujours un grand poids; les Anglais, qui considèrent l'argent comme une marchandise, considèrent aussi la marchandise comme de l'argent; avec de la marchandise on obtient de l'argent, et par conséquent du crédit.

Le prix de transport moyen en France est de 0,06 par tonne kilométrique; en Angleterre elle est de 0,07 environ. Or, dans le premier cas, le parcours moyen est de 148 kilomètres; dans le second cas, il n'est que de 58 kilomètres à cause de la différence de la longueur des lignes. Il est incontestable que plus les transports se font à de longues distances, plus le prix kilométrique s'abaisse, parce que les frais au départ et à l'arrivée pèsent moins sur la marchandise. Il faut considérer qu'en France la manutention se fait par les expéditeurs et par les destinataires; en Angleterre, au contraire, la manutention est faite presque exclusivement par les Compagnies. Il y a donc lieu de penser que, malgré la différence de 0,01 sur la tonne kilométrique, les prix de transport sont à très-peu de chose près les mêmes dans les deux pays, et cela malgré la différence de rapidité dans la livraison.

Les avantages économiques que l'on peut retirer en imprimant à la marchandise de grandes vitesses de transport justifient la méthode anglaise, surtout pour les marchandises d'un prix élevé, qui sont comprises dans ce que l'on appelle les marchandises de classe.

M. de Cœne aborde la description des gares anglaises, qu'il divise en trois types :

1° Les gares intérieures de Londres, gares où la marchandise ne séjourne pas;

2° Les gares extérieures de Londres ou les gares des grandes villes commerciales comme Liverpool, où la marchandise peut séjourner;

3° Les gares à marchandises maritimes.

PREMIER TYPE. — *Gares intérieures de Londres.*

Dans ces gares, le système est basé sur ce principe que toutes les marchandises, arrivages et expéditions, sont camionnées par les Compagnies sans exception.

Une des gares les plus remarquables à cet égard est sans contredit la gare de Broad-Street, appartenant à la London North-Western Cie, située au milieu de la Cité et à 500 mètres de Mansion-House, l'hôtel de ville de la Cité. C'est à peu près la position qu'occuperait à Paris une gare placée aux Halles centrales, près Saint-Eustache, par exemple, à l'extrémité de la rue Montmartre.

Cette gare a été placée ainsi pour atténuer les frais de transport par voiture, qui étaient très-onéreux lorsqu'il fallait les effectuer de la gare de Cambden, qui est placée à environ 6 kilomètres de cette dernière. Cette gare a encore l'avantage de permettre d'imprimer une grande rapidité à tous les transports de marchandises, qui peuvent être livrées presque aussitôt arrivées en gare à cause de la faible distance que les camions ont à parcourir.

Le tonnage de cette gare est de 324,000 tonnes, arrivages et expéditions compris.

A certains jours de Noël, le tonnage s'élève à 2,000 tonnes par jour.

Le trafic est uniquement composé de caisses, ballots, marchandises fabriquées, vivres de toutes sortes, viandes dépecées, sucres raffinés, cafés, etc. Ce sont toujours des marchandises fractionnées en une infinité de colis.

La gare est à deux étages : au rez-de-chaussée se fait la livraison des marchandises à expédier et des arrivages; au premier étage se fait la composition des trains.

Pour les arrivages, les trains chargés arrivant au premier étage sont décomposés et les wagons descendus un à un, par deux monte-charges, au rez-de-chaussée, et de là dirigés vers les divers quais, qui portent les désignations diverses. On décharge les wagons, et au fur et à mesure qu'ils sont déchargés on les remonte, on recompose des trains vides qui sont immédiatement enlevés. Les trains chargés se succèdent ainsi, et les trains vides sont expédiés; on ne conserve jamais de wagons vides tant que le service des arrivages n'est pas effectué. — Le service des expéditions se fait en sens inverse.

Ce qui caractérise, entre toutes les gares, la gare de Broad-Street, c'est l'application des deux étages, qui a pour but de doubler la surface en un point de la Cité où le terrain coûte 5 à 600 fr. le mètre carré.

Ce qui particularise aussi cette gare et les gares anglaises en général, c'est la répartition des wagons par groupes de deux ou trois wagons isolés les uns des autres, pouvant être enlevés du quai de déchargement au fur et à mesure que les opérations sont terminées, sans attendre, comme nous le faisons chez nous, qu'il y ait 15, 20 ou 25 wagons déchargés sur nos quais de 100 à 150 mètres de longueur sans solution de continuité. Dans les gares anglaises, cette manière de procéder permet à un wagon aussitôt déchargé d'être enlevé; chez nous, il faut attendre que les autres le soient, le wagon chargé de matières plus faciles à manutentionner étant arrêté par le wagon chargé de matières plus difficiles à manœuvrer. Si un wagon, dans nos exploitations françaises, demande 20 minutes de déchargement, qu'un autre ne demande que 10 minutes, il faudra que celui qui ne demande que 10 minutes attende que le déchargement soit effectué dans celui qui demande 20 minutes; de là des pertes de temps répétées pour les cas où la manutention doit être activée.

Il est bien entendu qu'en raison de l'usage fréquent des grues, les marchandises sont toutes contenues dans des wagons découverts, ce qui, je l'ai déjà dit ailleurs, est le cas des gares anglaises où on ne connaît pas le wagon fermé pour les marchandises.

Les wagons descendus au rez-de-chaussée sont amenés par des plaques tournantes sur les quais perpendiculaires qui bordent les quais de déchargement.

Toutes les manœuvres des wagons se font au cabestan hydraulique; des poulies folles, convenablement disposées, permettent aux cabestans hydrauliques de diriger les wagons dans tous les sens, de faire tourner les plaques, de ramener les wagons sur les monte-charges. Toutes ces opérations se font avec une régularité, un ordre, une facilité admirables dont on n'a pas conscience dans nos gares françaises, et dont la vue seule peut donner une idée.

Ces manœuvres au cabestan ont deux avantages : elles se font mieux et plus rapidement qu'avec les chevaux et plus économiquement, sous l'impulsion d'un moteur unique, l'eau en pression, qui éloigne toutes les chances d'incendie, et au besoin même peut être d'un puissant concours pour les combattre.

Les cabestans hydrauliques sont mis en mouvement par une pédale qu'un homme fait fonctionner avec son pied; il enroule sur le cabestan la corde deux ou trois fois; cet enroulement met en mouvement la corde dont l'extrémité, armée d'un crochet, vient prendre le wagon à la plaque de garde pour le mettre en marche. Suivant que la corde est placée sur tel côté du wagon, que cette corde est placée sur telle ou telle poulie folle, le wagon avance, recule, la plaque tourne, et tout cela avec une rapidité double du cheval, l'effort du cabestan étant double ou triple de celui du cheval.

Les premiers cabestans employés étaient continuellement en mouvement; on en a reconnu l'inconvénient et les dangers pour les ouvriers de ces appareils toujours en marche, et on leur a substitué des cabestans à mouvement facultatif, qui ne présentent pas les dangers des cabestans à mouvement constant. Ces cabestans sont mis en mouvement par la machine à trois cylindres de M. Brotherwood.

Au moment où une certaine activité règne dans la gare, il est vraiment curieux de voir tout le système en fonction. L'emploi des moyens mécaniques dans les gares est un exemple nouveau des merveilleuses aptitudes des machines motrices aux diverses applications à faire dans les manutentions.

Il est bien certain que sans ces applications les gares anglaises seraient inexploitables, et c'est à elles qu'on doit, sans aucun doute, la possibilité de faire sur des espaces aussi restreints un trafic dix fois plus grand que dans nos gares à marchandises en France.

En Angleterre, on ne connaît pas les quais de grande longueur; toujours les quais sont fractionnés en îlots isolés les uns des autres et accessibles par deux ou trois côtés.

Le travail des arrivages en gare commence vers neuf heures du soir et se continue jusqu'à neuf heures du matin. Le travail des expéditions, qui se fait sur les mêmes quais, a lieu de neuf heures du matin à neuf heures du soir.

La longueur des voies de composition des trains, au premier étage, est de 2,500 mètres, divisés en dix voies parallèles de 250 mètres.

La longueur des voies de la gare inférieure est de 1,480 mètres, dont 480 mètres de voies de chargement des marchandises et 1,000 mètres de voies de manœuvre.

De sorte que la longueur des voies de la gare, pour un service de 2,000 tonnes par vingt-quatre heures, est de 1,480 mètres; chaque tonne exige environ :

Pour voies de manœuvre et de dégagement.................. $\frac{2,500}{2,000} = 1^m,25$

Pour voies de chargement et de déchargement............... $\frac{480}{2,000} = 0^m,24$

Toutes les opérations de traction au rez-de-chaussée se font par des cabestans hydrauliques; toutes celles du haut par machine et par chevaux, à l'exception du service des plaques et de l'amenée des wagons sur les monte-charges, qui se font également par cabestan.

On emploie pour ce trafic six chevaux.

Le nombre d'employés est de 592.

Le prix de revient de la tonne manutentionnée est de 2 sch. 1 d. $2^f,60$ par tonne pour un tonnage annuel de 340,000 tonnes environ.

Toutes les manutentions de colis pesant 150 kil. au minimum sont faites par des grues hydrauliques.

La surface de la gare supérieure est de...........................	$15,000^m$
La surface de la gare au rez-de-chaussée est de..................	28,000
Le total de la surface de la gare est de...........	$43,000^m$

Soit, pour un tonnage maximum de 2,000 tonnes par jour, une surface de $\frac{43,000^m}{2,000} = 21^m,50$ par tonne de marchandise à l'expédition et aux arrivages; c'est, je crois, la limite maximum de travail que cette gare peut produire.

Les quais de déchargement sont sous les voûtes, sur lesquelles se trouvent les voies d'une gare des voyageurs, auxquelles les voies de manutention sont accolées.

Les voies de manœuvres et de dégagement du rez-de-chaussée sont couvertes par les voies de manœuvres qui sont supportées sur des poutres en fer que soutiennent des colonnes en fonte, qui sont indiquées sur le plan général qui est joint au rapport déposé à la bibliothèque de la Société.

En dehors de la surface du terrain, dont la valeur est considérable, les dépenses d'établissement de cette gare peuvent s'évaluer ainsi :

Voies ferrées (pavées partout)..................	400m à 70 fr.	280,000 fr. »
Plaques tournantes..........................	40 à 3,500 fr.	140,000 »
Plancher de support des voies principales, estimation.............		1,500,000 »
Quais des gares...........................	9600m à 40 fr.	384,000 »
Machines à vapeur de 120 chevaux..............	120,000 fr.	785,000 »
Monte-charges........... 2 à 100,000 fr.... =	200,000 fr.	
Cabestans hydrauliques.... 8 à 5,000 fr.... =	40,000 fr.	
Tuyauterie........... 1200 à 50 fr.... =	60,000 fr.	
Grues de 1500 kilogrammes. 40 à 8,000 fr.... =	320,000 fr.	
Grues hydrauliques de 10 tonnes................	25,000 fr.	
Grues hydrauliques de 5 tonnes................	10,000 fr	
Bureaux....................................	10,000 fr.	
Cours d'arrivée.......... 1000m à 15 fr.....................		150,000 »
Bascules........... 2 à 3,000 fr.......................		6,000 »
Bascules (petites).... 22 à 600 fr.		13,200 »
Total..............		3,258,200 fr. »

La dépense totale peut être évaluée à environ 3 millions, soit par tonne de marchandises $\frac{3,000,000}{320,000}$ = par an.................................. .... 10f 18

soit à 6 pour 100 du capital engagé, 10.18........................= 0 61
par tonne de marchandises.

Si on retranche de la somme de 3 millions, pour le premier étage, 1,500,000 fr. pour le plancher en fer, on aura un chiffre de 1,700,000 francs, ce qui représente environ 5 fr. 30 par tonne de marchandises, ou 0 fr. 35 par tonne pour dépense en capital. Mais si on estime d'un autre côté que le terrain dans ce quartier coûte environ 500 francs le mètre, soit 28,000 mètres × 500 francs = 14,000,000 de francs, l'intérêt à 6 pour 100 de la dépense totale, soit 16 millions, donne par an une dépense de 942,000 francs, et pour 340,000 tonnes, 2 fr. 77 par tonne de marchandises, sacrifice que la Compagnie a fait pour amener la marchandise au centre de la Cité, éviter le camionnage et activer l'enlèvement des marchandises; il e t vrai que cette gare pourrait faire 600,000 tonnes, ce qui réduirait la dépense par tonne à 1 fr. 57.

Cette tendance s'explique, comme je l'ai déjà dit, mais comme je crois devoir le répéter encore, par le désir d'arriver rapidement dans l'intérieur de Londres et à diminuer les frais de transport par camionnage.

Il est en effet certain que les Compagnies, en diminuant de 3 à 4 kilomètres et même plus le camionnage dans Londres, doivent y trouver de grands avantages.

Il n'est pas douteux en effet qu'à Paris, par exemple, si une gare de marchandises était aux Halles centrales au lieu d'être à Bercy, à Ivry ou à Batignolles, la livraison des marchandises des Halles, les matières fabriquées, les articles de Rouen, Lisieux, etc., pourraient être camionnés infiniment plus vite et à meilleur marché que s'il faut les aller prendre aux gares de Bercy, de Batignolles et d'Ivry.

Si la ligne de Lyon avait une gare aux Halles centrales, pour beaucoup de produits, cela aurait un énorme avantage; de même pour l'Est, Orléans et le Nord.

Mais pour cela il faudrait ne pas avoir d'octroi ou en simplifier les rouages et faire les transports à domicile, sans permettre aux destinataires ou aux expéditeurs de faire attendre une minute l'enlèvement des colis qui devrait être immédiat.

La gare de Broad-Street ainsi décrite dans tous ses détails essentiels, il reste maintenant à montrer les dispositions d'une des gares de Liverpool les plus modernes.

Deuxième type. — *Gare de Canada-Docks.*

La gare de Canada-Docks est aménagée d'une façon différente et qui rentre mieux dans les dispositions qu'on pourrait appliquer dans nos gares françaises; elle peut, aux arrivages, servir de magasin.

Elle se divise en deux parties distinctes : le côté des expéditions et le côté des arrivages.

Expéditions. — Au centre du hangar se trouve le quai proprement dit; ce quai en pente est divisé en trois fractions:

La première fraction où les colis peuvent être chargés dans les wagons à la main au besoin; ce quai a environ $0^m,80$ à 1 mètre de hauteur.

La seconde fraction où on peut charger les marchandises chargées en tombereau, par exemple, en faisant basculer le tombereau; le quai a $2^m,50$ de hauteur.

La troisième fraction pour les balles de laine, coton, paille, foin, fûts, etc., beaucoup plus élevée, $3^m,50$ à 4 mètres.

Des grues hydrauliques sont disposées tout le long du quai, pour au besoin charger mécaniquement s'il est nécessaire.

Les chargements se font tous à couvert; il y a un éclairage très-puissant pour travailler la nuit.

La manœuvre des wagons sous la halle se fait par des cabestans hydrauliques disposés dans les entrevoies.

Jamais, comme dans nos gares, les machines ne viennent sous les hangars de peur des incendies, l'usage des cabestans paraît supérieur à l'emploi des locomotives qui peut être un grave danger pour une gare à marchandises.

Gare des arrivages. — La gare des arrivages est placée en face de la gare des expéditions; au lieu d'être une gare à rez-de-chaussée, c'est un magasin à 5 étages, avec plancher en fer supporté par des colonnes.

La manœuvre des wagons se fait au rez-de-chaussée du magasin au moyen de cabestans mus par l'hydraulique.

Les marchandises arrivant sont déchargées à la grue là où il y a de la place, l'emplacement est désigné par des travées qui se distinguent facilement les unes des autres par de grandes lettres. Ces indications suffisent avec le numéro de l'étage pour diriger le commerçant et lui permettre de retrouver sa marchandise. Sur un tableau noir, placé dans le bureau d'entrée, on inscrit le numéro de la travée dans laquelle a été déchargée la marchandise, ce numéro est indiqué sur la feuille d'avis d'arrivage, de sorte que le destinataire, sans de longues recherches, en consultant le tableau et voyant le numéro de la travée, sait exactement où il doit trouver sa marchandise; c'est une facilité très-grande, je crois, qui me paraît devoir trouver son application dans nos gares d'arrivages. C'est, en un mot, un véritable magasin accessible aux wagons; la marchandise est conservée comme dans un dock, et l'habitude, pour les négociants à Liverpool, c'est de considérer les marchandises comme vendues par le simple transfert de la lettre de voiture; les opérations de crédit s'opèrent sur ces mêmes lettres.

Une chose sur laquelle on doit appeler l'attention, c'est la *concentration* des manœuvres; par un enchevêtrement continuel d'aiguilles, de croisement, on épargne aux hommes de manœuvre des parcours inutiles, et on donne aux gares le maximum de voies avec la plus petite surface possible. Ainsi, tandis que dans nos gares nous nous préoccupons de conserver le type de nos changements avec les mêmes angles, les mêmes rayons, les mêmes dimensions, les Anglais varient ces conditions d'établissement à l'infini, sans se préoccuper des types et des conditions ordinaires. Cette liberté absolue se trouve justifiée parce que, en définitive, les manœuvres se faisant à vitesse réduite, il n'y a pas, ou il y a moins de danger de déraillement lors du passage des wagons.

L'ensemble des voies d'une gare anglaise paraît inextricable, comparé à l'ordonnance de nos gares françaises, mais il faut considérer l'avantage que l'on trouve et la place que l'on gagne en agissant ainsi que le font les Anglais.

Le tonnage actuel (1873) de la gare de Canada-Docks est de 467,696 tonnes.

Mais cette gare, une des plus récentes, n'est pas en plein produit, elle pourrait recevoir presque le double des marchandises, 600,000 tonnes, c'est-à-dire que l'on

peut compter faire dans la gare de Canada-Docks en expéditions et en arrivages 600,000 tonnes.

Or, pour cette quantité de tonnes de marchandises, la longueur des voies est de 10,690 mètres, soit par tonne de marchandises, par jour, pour 2,000 tonnes, 5m,30.

La longueur des quais de chargement et de déchargement est de 620 mètres, soit par tonne de marchandises reçues ou expédiées, 0m,31.

La surface totale du terrain occupé par la gare est de 73,000 mètres, soit par tonne de marchandises, 36m,50.

La surface des quais couverts et utilisables d'expédition est de	8,040m
La surface des magasins d'arrivages est de....................	13,920
C'est donc une surface de...............	21,960m

et par tonne de marchandises reçues, par jour (2,000 tonnes), 10m,98.

Les dépenses approximatives sont les suivantes :

Terrains..	730,000 fr.
Terrassements..................................	250,000
Voies ferrées avec changements..................	980,000
Hangar couvert d'expéditions......................	550,000
Hangar couvert d'arrivages..........................	1,000,000
Appareils mécaniques, évaluation......................	800,000
Guérites d'aiguilleurs, etc........................	200,000
Total de la dépense..............	4,510,000

et par tonne de marchandises pour un transport de 600,000 tonnes, en capital 7f 51, et en intérêts, par tonne, 0f 4506.

Il résulte aussi de documents pris sur place que la dépense de la gare pour les employés, hommes d'équipe, chevaux, etc., s'élève à 22,088 livres par an, soit pour le chiffre de tonnage actuel, qui est de 467,690 tonnes $= \frac{550.000^f}{467,690^t}$, environ 1f 17 par tonne.

La gare de Broad-Street à Londres et celle de Canada-Docks paraissent caractériser le système des gares anglaises, dans deux applications différentes : la première est la gare centrale, la seconde est la gare ordinaire des grandes villes. Toutes les deux présentent des dispositions exécutées dans le but de circonscrire les manœuvres dans le plus petit espace possible ; la première exige l'expédition à domicile, la seconde permet la réception en gare. La première ne pourra être employée en France que pour les marchandises qui seront, de la volonté du destinataire, camionnées d'office par la Compagnie, puisque l'article 52 du cahier des charges des chemins de fer français laisse aux destinataires la faculté de recevoir leurs marchandises en gare.

Le deuxième système pourra être seul appliqué en France, aussi longtemps que l'article 52 ne sera pas modifié.

M. de Coene expose ensuite les dispositions des gares maritimes. Les bassins des ports de mer sont des gares mixtes pour la marine et le chemin de fer.

Les navires sont de véritables magasins mobiles qu'il faut débarrasser vite, parce que les jours de planche et les frais de surestarie sont élevés. Les procédés à employer doivent donc permettre une grande rapidité et en même temps l'isolement des navires les uns des autres.

Suivant que la marchandise est en wagons et non sujette aux avaries par la pluie, on peut employer des dispositions différentes de celles où la marchandise doit être protégée.

Dans le premier cas, les marchandises sont reçues à l'air libre.

Dans le second, elles sont déchargées sous des hangars.

Dans les deux cas, il doit y avoir une voie pour les grues qui doivent être mobiles, qu'elles soient à vapeur ou qu'elles soient hydrauliques, et c'est sur sa demande, pour un projet qu'il avait étudié pour le port de Dieppe, que M. Armstrong a fait étudier, et mis en usage depuis plusieurs années, un système de grue mobile hydraulique dont il existe déjà plusieurs exemples en Angleterre. En France il n'en existe pas; la raison, c'est que l'emploi des appareils hydrauliques, même dans les ports, est presque inconnu en dehors du port de Marseille.

A côté de la voie des grues, une voie pour recevoir les wagons en chargement. Puis, enfin, il doit y avoir deux voies supplémentaires pour l'arrivée et le départ des wagons de marchandises.

Dans le cas de marchandises en wagons, la communication de la voie de chargement affectée à chaque navire est opérée par des changements et des voies comme à Poplar-Docks et à Dieppe. Pour les marchandises reçues sous un hangar, les voies sont mises en communication par des plaques. Dans ce troisième type de gare maritime, le même système existe que dans les gares des villes; on doit toujours fractionner les voies de chargement en petites longueurs, pour assurer l'arrivée et le départ des wagons et imprimer au service le maximum de rapidité.

M. de Cœne montre les dispositions de Hombourg, de Dieppe, qui sont basées sur ce principe.

Il termine en espérant qu'en France on commencera bientôt à employer, comme en Angleterre, les merveilleuses applications dues à M. Armstrong. Ces applications devront apporter aux manutentions dans les gares une vivacité qui, en résumé, se traduira par une économie sensible sur les transports. Car dans les transports tout se tient : le chargement, le transport sur rails, l'utilisation du matériel, la rapidité du transport, la rapidité de la livraison. Ces opérations sont étroitement unies. Et quand il y a arrêt dans une de ces opérations, les autres en souffrent. Si le déchargement se fait lentement, bien qu'économiquement, l'utilisation incomplète des wagons fait perdre les avantages de ce déchargement économique mais trop lent.

Il est convaincu que les opérations anglaises, vues d'ensemble, sont plus économiques que les opérations françaises, tout en donnant une satisfaction plus grande aux véritables intérêts économiques du commerce et de l'industrie, — l'économie du temps.

Il pense que la timidité extrême, pour ne pas dire la crainte, que l'on a mise jusqu'à présent en France à employer les moyens mécaniques pour les opérations dans les gares, devront bientôt faire place à un emploi général de ces engins, et que les Compagnies y trouveront économie dans l'ensemble de leurs services.

M. Marché a entendu avec le plus vif intérêt la communication de M. de Cœne, et, s'associant aux conclusions de l'auteur, il partage son désir de voir essayer en France le système anglais pour l'aménagement des gares et la manutention des marchandises.

Il est d'ailleurs convaincu que si on n'avait pas rencontré dans l'organisation même des transports à petite vitesse des obstacles d'une nature toute spéciale, nos ingénieurs auraient trouvé, comme dispositions et comme engins, des solutions

aussi ingénieuses, aussi pratiques, et probablement plus économiques que celles adoptées de l'autre côté de la Manche.

M. de Cœne a indiqué quelques-uns de ces obstacles : octrois, expéditions en gare, forme des wagons, etc.; mais il n'a pas parlé de la principale difficulté qui résulte de l'ensemble des prescriptions relatives aux *délais de transport*.

Ces prescriptions, indiquées dans les cahiers des charges des Compagnies et dans tous les tarifs spéciaux, montrent qu'on a conçu chez nous le transport des marchandises à petite vitesse dans un esprit tout à fait différent qu'en Angleterre.

La durée du trajet est calculée à raison de vingt-quatre heures par fraction indivisible de 125 kilomètres; à cette durée s'ajoute un jour pour l'expédition à la gare de départ, puis autant de fois un jour qu'il y a de points de jonction reliant des lignes distinctes, le tout non compris le jour de la remise et celui de la livraison, de telle sorte que pour des parcours de 4 à 500 kilomètres, quoiqu'on transporte les marchandises à une *vitesse de marche* d'au moins 25 kilomètres à l'heure, il s'écoule sept ou huit jours entre la remise et la livraison, c'est une vitesse *moyenne* de quinze lieues par jour.

Ceci s'applique aux transports faits aux conditions du tarif général; mais si on a recours aux tarifs spéciaux, ce délai est augmenté uniformément de cinq jours, et on obtient alors une vitesse *moyenne* que la navigation fluviale et le roulage pourraient aisément dépasser.

De ces longs délais, et surtout de ce fait que toute réduction de tarif a pour corollaire une augmentation de délai, il est naturellement résulté que tout le personnel de nos chemins de fer, depuis le chef de l'exploitation jusqu'au dernier facteur, est imbu de cette pensée qu'il sert les intérêts de la Compagnie, qu'il contribue à diminuer le prix de revient des transports à petite vitesse en ralentissant, non la marche sur rails, mais la mise en route, la manutention et la livraison des wagons.

Est-il vrai qu'en effet un plus long délai diminue le coût du transport? Il est permis d'en douter, la moindre utilisation du matériel compense l'avantage résultant du poids plus élevé des trains. En tout cas, si on transportait plus rapidement, on transporterait davantage.

Quoi qu'il en soit, lors même que des moyens puissants et rapides pour la manutention des marchandises seraient mis actuellement à la disposition du personnel, il n'en saurait faire usage, si on n'avait pas préalablement modifié les errements actuels en matière de délais.

M. Marché pense donc que l'application du système anglais ne sera possible chez nous que lorsqu'il aura d'abord été rendu *nécessaire* :

1° Par la réduction des délais réglementaires de transport, dont la base a été fixée à l'origine des chemins de fer et qui sont maintenant tout à fait hors de proportion avec l'extension du réseau, avec la puissance des moyens dont nos chemins de fer peuvent disposer et avec les besoins toujours croissants des transactions commerciales et industrielles;

2° Par la suppression ou la réduction du délai supplémentaire stipulé dans les tarifs spéciaux comme condition de leur application.

M. Gillot dit que la lenteur du transport à petite vitesse est exagérée à dessein, afin de forcer à prendre la grande vitesse qui coûte plus cher.

M. de Cœne fait remarquer que la vitesse est surtout une question de délais de livraison, et non de vitesse de marche, car cette dernière est presque aussi considérable en France qu'en Angleterre. Mais il ne faut pas perdre de vue qu'en Angleterre

les prix sont sensiblement plus élevés qu'en France, et qu'il n'y a pas, à proprement parler, de petite vitesse.

M. Brüll désirerait savoir si plusieurs grandes lignes anglaises n'ont pas quatre voies; il pense que les grandes artères françaises aux abords de la capitale sont surchargées, par les trains de voyageurs le jour, par ceux des marchandises la nuit, et la capacité de trafic des deux voies de ces lignes semble aujourd'hui atteinte.

M. de Coene dit qu'en effet le Midland est à quatre voies aux approches de Londres. Le London-North-Western, qui avait trois voies, construit une quatrième voie. Relativement à la France, le trafic est plus considérable en marchandises et en voyageurs, et les trains étant beaucoup plus fractionnés, c'est le nombre des trains qui conduit à doubler la ligne. La grande vitesse des marchandises s'obtient surtout par la suppression des arrêts et des triages; sur le London North-Western même, les machines prennent de l'eau pendant la route, sans arrêt, au moyen de l'appareil bien connu de M. Ramsbottom.

M. le Président explique que les longs délais, et surtout l'impossibilité de trouver près des chemins de fer la garantie d'une réduction de 2 ou 3 jours pour les cas urgents, tels que correspondance avec le départ d'un bateau mensuel, gênent souvent le commerce et l'industrie. Il peut citer à sa connaissance le fait de l'expédition des pièces de rechange fabriquées à Paris pour les dragues de l'isthme de Suez, expédition pour laquelle il a fallu renoncer à emprunter le chemin de fer qui demandait toujours quinze jours sans pouvoir dans aucune circonstance se départir de ce délai.

M. Marché fait remarquer que le public n'accepte les longs délais que parce qu'il les croit nécessaires aux bas tarifs. Cette croyance résulte de ce que, dans tous les tarifs réduits, une prolongation des délais de transport de cinq jours est inscrite comme condition de leur application, en même temps que l'obligation du chargement complet, et que la clause de non responsabilité qui sont évidemment des causes de réduction du prix de revient.

Il est convaincu, au contraire, que les délais d'expédition, l'arrêt en route dans les gares de jonction et de triage, l'utilisation imparfaite du matériel qui en résulte, etc., ont pour effet d'augmenter le coût du transport.

M. le Président dit qu'une gare à marchandises lui paraît une sorte d'atelier de manutention, or tout atelier doit être pourvu d'engins mécaniques, et nos gares n'en ont pas.

M. Vidard ajoute qu'il lui paraît certain que les retards proviennent beaucoup des temps perdus dans les gares, et il pense que le personnel n'est pas organisé pour manutentionner vivement, même comme il pourrait le faire à défaut d'engins.

M. Regnard estime que les destinataires pouvant se diviser en deux classes, ceux pressés et ceux non pressés, il pourrait y avoir des tarifs légèrement augmentés pour ceux qui réclameraient une vitesse intermédiaire entre la grande et la petite vitesse.

M. Dallot pense que la responsabilité de la lenteur des transports n'incombe pas entièrement aux Compagnies qui, depuis longtemps, se répandent en doléances sur la lenteur que les commerçants, de leur côté, apportent à l'enlèvement de leurs marchandises, parce qu'ils trouvent commode de considérer les gares comme des magasins. Il est clair que, lorsque les gares sont encombrées, le service du mouvement se trouve paralysé. D'autre part, on peut répondre qu'il appartient aux Compagnies de provoquer les changements de réglementation et de législation nécessaires pour remédier à cet abus, et que peut-être, sur ce point, leur initiative ne s'exerce

pas avec assez d'énergie. Peut-être aussi n'offrent-elles pas ces compensations suffisantes pour décider les pouvoirs publics à leur accorder des modifications dont l'application troublerait, au début, les habitudes et les convenances du commerce. Enfin il faut encore signaler qu'un progrès très-considérable serait obtenu, et que les obstacles à la réalisation de nombreux progrès techniques seraient immédiatement levés, si l'on réunissait dans une même main le mouvement et le service du matériel et de la traction.

M. Morandière voit également une différence dans la manière dont les contestations sont jugées par les tribunaux. En France le principal élément d'appréciation est le délai fixé par le cahier des charges, en Angleterre les Compagnies (qui ont le *droit de fermer leurs gares et de refuser* de transporter la marchandise) sont seulement tenues de faire l'expédition *dans le plus bref délai possible.* Le juge peut donc faire intervenir l'examen des circonstances dans lesquelles le retard relatif s'est produit.

M. Marché se demande si la tendance du public à laisser les marchandises en magasin dans les wagons des Compagnies n'est pas souvent la conséquence de l'incertitude qui règne sur le jour des arrivées, par suite des longs délais. Cette incertitude ne permet pas d'organiser un camionnage régulier pour l'enlèvement des marchandises.

M. Fichet appuie cette observation, et peut citer une usine près Paris qui se fait expédier tous les jours de la mine cinq wagons de houille. Mais la Compagnie ne fait pas régulièrement l'envoi, et après avoir manqué de combustible pendant quelques jours, l'usine reçoit avis qu'elle peut disposer quelquefois de 35 wagons. Or, la place faisant défaut, l'usine ne prend livraison que successivement et paie alors des droits de magasinage élevés.

M. de Coene reconnaît l'importance de la question examinée sous les divers points de vue qui précèdent. Les engins mécaniques seraient en ce moment en France utiles surtout pour réduire les frais de main-d'œuvre. Ils ne concourraient à accélérer efficacement les transports que si les habitudes du public, habitudes que signale M. Dallot, étaient changées. Or le cahier des charges permet l'expédition en gare, et les expéditeurs usent presque toujours de cette faculté ; le chemin de fer doit alors aviser le destinataire et attendre ses ordres. Il en résulte, même dans le cas où l'ordre est donné à la Compagnie de camionner par elle-même, une durée de stationnement de trois jours, qui occasionne de ce chef seul l'occupation d'une superficie triple de celle qui serait nécessaire en Angleterre. En outre le commerce laisse souvent la marchandise stationner bien plus longtemps, et fait des gares de véritables magasins, tout en payant un droit peu élevé. Quant à construire des entrepôts annexes des gares, comme en Angleterre, la constitution de nos Compagnies ne leur donne pas le plein droit de le faire ni de les exploiter. Une gare de marchandise, située au centre de Paris, serait certainement profitable au commerce, à la condition expresse que les paquets fussent promptement délivrés : or, le régime actuel s'y oppose. Il est donc nécessaire de changer ce régime. C'est là une des questions que soulève évidemment la communication qu'il vient de faire à la Société, à côté du terrain technique sur lequel il l'avait surtout placée, et il permettra de rappeler qu'il a traité les modifications à faire au régime dans une réponse faite par lui au questionnaire de l'enquête parlementaire ouverte il y a quelques années. Une copie de cette réponse est déposée à la bibliothèque de la Société.

Il peut constater qu'aux yeux des membres de la Société la diminution des délais de transports même aux prix d'une légère augmentation paraît une amélioration à

introduire. Il doit cependant faire observer que dans le public, dans les chambres de commerce, dans les débats portés à la tribune parlementaire, jamais la question des délais n'a été agitée, et tout a roulé toujours sur la diminution des tarifs. Sous ce point de vue, cependant, la France paraît tenir la tête, des tarifs moyens de 6 centimes environ par tonne et kilomètre sont peu élevés; mais les besoins du commerce ne demandent-ils pas la possibilité de délais plus restreints dans certains cas, et par suite une modification législative ne doit-elle pas être désirée aussi bien par les Compagnies que par le public, leurs intérêts étant connexes?

M. le Président remercie M. de Cœne de cette intéressante communication, qui appelle l'attention des ingénieurs sur des questions à la fois législatives, commerciales, industrielles et techniques.

MM. Chavannes, Coulanghon, Danvers et Grelley ont été admis comme membres sociétaires, et MM. Bougarel, Collin, Deny et Jamin, comme membres associés.

Séance du 19 Novembre 1875.

Présidence de M. Richard, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 novembre est adopté.

M. le Président fait donner lecture de la lettre suivante qui lui a été adressée par M. J. Morandière :

Monsieur le Président,

J'ai l'honneur de remettre à la Société deux dessins relatifs à la manœuvre des aiguilles de chemin de fer.

L'un représente les *appareils d'enclanchement* usités par la Compagnie de l'Ouest, connus sous le nom de système Vignier, et dont il a été parlé dans une des dernières séances, dans une note de M. Chabrier.

L'autre représente les *appareils de manœuvre à distance* des aiguilles, usités par la même Compagnie.

Ces derniers appareils ont été posés jusqu'à ce jour dans des circonstances qui ne demandaient pas l'enclanchement; mais dans une application en cours, ce complément est ajouté au moyen d'une disposition étudiée par M. Bouissou, ingénieur du matériel fixe de l'Ouest.

Je rappellerai que les dessins et la description de l'application des appareils anglais Saxby et Farmer, à la bifurcation de Moret (Compagnie de Lyon), ont été donnés par M. Georges Tardieu aux séances d'octobre et novembre 1868. Les leviers

de manœuvre sont placés dans une cabine vitrée très-élevée au-dessus de la voie, à la façon anglaise. Une application récente vient d'être mise en service ces jours derniers à la gare de Nîmes, située en viaduc au milieu de la ville. Deux postes élevés placés au-dessus des voies, à chacune des extrémités de la gare, commandent toutes les manœuvres d'aiguilles et de signaux.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Lavalley sur les recherches et sondages sous-marins exécutés dans le détroit du Pas-de-Calais, en 1875, en vue du tunnel entre la France et l'Angleterre.

M. Lavalley. L'intérêt qui s'attache au projet d'un tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre m'a engagé à venir vous en entretenir avec quelques détails.

Un jour viendra, prochain j'espère, où les moyens pratiques d'exécution seront la seule question à résoudre. Mon principal objet est aujourd'hui de vous dire ce que l'on est parvenu à savoir de la nature et de l'allure des terrains dans lesquels on a projeté le tracé. Je vous dirai les moyens d'investigation que l'on a employés, le parti qu'il a été possible d'en tirer et ce que l'on croit pouvoir en attendre encore.

Le projet actuel, le projet de sir John Hawkshaw, fait partir le tunnel sous-marin d'un point situé entre Sangatte et Calais, et aboutir à la baie de Sainte-Marguerite, à 6^{k},500 à l'est de Douvres. Sa longueur totale, d'une rive à l'autre, serait d'environ 34 kilomètres. Les raccordements avec le chemin de fer du Nord français, comme avec l'un et l'autre des chemins de fer aboutissant à Douvres, auraient des parties courbes de très-grands rayons.

Au milieu du détroit, le sommet de la voûte se trouverait à 120 ou 125 mètres en contre-bas du niveau des basses mers, à 70 ou 75 mètres au-dessous du fond du détroit dont la profondeur, sur la ligne suivie, ne dépasse pas 54 mètres. Pour arriver à cette profondeur, la voie de fer aussitôt après s'être séparée du chemin du Nord, s'enfoncera en tranchée d'abord, puis en tunnel, suivant une pente douce, 10 à 12, peut-être 13 millimètres par mètre. Quand elle arrivera sous le rivage pour commencer à pénétrer sous le détroit, elle aura 70 mètres de terre au-dessus d'elle, et continuera à descendre comme descend le fond de la mer pendant encore 4 à 5 kilomètres. Là, la pente cesse et la voie remonte à raison de 1/3 de millimètre par mètre jusqu'au milieu du détroit. Cette inclinaison vers la rive amènera l'eau d'infiltration au point du changement de pente; là, cette eau trouvera une petite galerie d'écoulement qui la conduira au puits du bord de la mer, où des pompes la rejetteront au dehors.

La seconde partie du souterrain est semblable à la première. Redescendant d'abord sur une pente de 1/3 de millimètre par mètre, il remonte ensuite plus rapidement jusqu'au niveau du sol.

Vous savez, Messieurs, que fort heureusement la voie anglaise, $4^{p}.8\ 1/2$ ($1^{m}.44$), est celle de la plus grande partie des chemins de fer d'Europe. L'Espagne et la Russie au delà de la Vistule font seules exception.

L'emplacement du tunnel sous-marin a été déterminé par la condition de rester autant que possible dans les assises inférieures de la craie.

Voyons comment, pour satisfaire à cette condition, on a choisi les deux points extrêmes et quelles sont les chances que, dans le percement, on ne rencontrera pas

quelques dislocations des couches crayeuses, ou même des terrains différents plus anciens ou plus récents.

Avant de vous parler de la constitution géologique de la région qui, en Angleterre, entoure Sainte-Margaret et de celle qui, en France, avoisine Sangatte, je vais en décrire rapidement le relief, et faire ressortir la ressemblance qu'on remarque dans les principaux caractères de ce relief, de part et d'autre du détroit.

La ressemblance de ces deux régions apparait plus frappante à mesure qu'on examine plus attentivement la disposition et la constitution des terrains en France et en Angleterre, et bientôt on arrive à constater l'identité de disposition, de nature et d'épaisseur des différentes assises.

Au voyageur qui, venant de Calais ou de Boulogne, se dirige vers Douvres, la côte anglaise se présente, comme on sait, sous l'aspect d'une haute falaise blanche. Sur la gauche, auprès de Folkestone, la falaise s'élève brusquement et atteint aussitôt sa plus grande hauteur, qui est d'environ 175 mètres au-dessus du niveau de la mer. A partir de ce point culminant, elle s'abaisse en pente douce. Derrière Douvres, à environ 8 kilomètres de son sommet, elle n'a plus que 100 mètres de hauteur et, continuant à descendre, elle arrive au niveau de la mer auprès de Deal, à 10 kilomètres de Douvres, à 17 kilomètres de son point le plus élevé. Les 175 mètres de hauteur maximum se sont donc perdus en 17 kilomètres. La pente moyenne de la crête de la falaise est donc de $\frac{1}{100}$, un mètre en 100 mètres.

Si, placé sur le point le plus élevé et tournant le dos à la mer, vous regardez vers l'intérieur des terres, vous voyez l'escarpement au bord duquel vous vous tenez, se prolonger sur terre et limiter assez brusquement le plateau qui se trouve devant vous. Ce plateau vers la droite s'abaisse doucement, au contraire, comme la crête de la falaise.

La côte française, vue de la mer, offre une conformation analogue.

A Saint-Pol, sur la droite, commence la falaise élevée de quelques mètres seulement au-dessus de la mer. A partir de ce point, en allant vers la gauche, sa crête présente une ligne légèrement ondulée qui, auprès de Wissant, s'élève rapidement, redescend un peu, se relève pour former le Blanc-Nez, puis s'abaisse doucement et la falaise vient finir à Sangatte, presque au niveau de la mer. Si nous nous plaçons sur une des hauteurs du Blanc-Nez, comme tout à l'heure nous nous placions sur le point le plus élevé de la falaise anglaise, nous voyons encore comme un plateau légèrement incliné vers la gauche, et se terminant brusquement vers la droite.

Retournons maintenant à la falaise anglaise, et examinons la roche qui la compose.

On reconnaît aussitôt que, sur toute sa hauteur, elle est formée de craie disposée en bancs réguliers, d'épaisseurs très-inégales, et différant entre eux de dureté, de composition et souvent d'aspect. Ces diverses assises ont été très-exactement décrites, en 1818, par William Philipps, dans ses *Observations sur les falaises crayeuses des environs de Douvres*.

Ce géologue a constaté la parfaite identité de nature et d'ordre dans la superposition des couches des deux falaises anglaise et française. Cette identité démontrait la continuité du terrain crétacé dans la région occupée aujourd'hui par le Pas-de-Calais.

Philipps avait reconnu, dans l'épaisseur totale du massif crayeux, six assises différentes ; un tableau ci-joint en donne l'ordre de superposition et leur épaisseur. Ces six assises peuvent se réunir en trois groupes : le premier comprend les deux assises supérieures de Philippe, dans lesquelles se rencontrent de nombreux silex, d'où la désignation commune de craie à silex.

Au-dessous vient la craie sans silex, ou craie blanche, comprenant les troisième et quatrième assises de Philipps; enfin, au-dessous, la craie grise.

Le premier groupe, celui de la craie à silex, quand il est complet comme dans la colline sur laquelle est bâti le château de Douvres, a une épaisseur d'environ	145 m
La craie sans silex.	50
Enfin, la craie grise.	55
L'épaisseur totale du massif crayeux est donc d'environ.	250 m

Ces bancs sont inclinés comme la crête de la falaise ; on les trouve tous au-dessus de l'eau, dans les environs du signal de Folkestone, mais, plongeant petit à petit, ils disparaissent successivement sous le niveau de la mer, la craie grise un peu avant le rocher de Shakespeare, la craie blanche à Douvres, enfin la craie à silex au château de Walmer, à une petite distance de Deal.

L'inclinaison moyenne est, comme nous l'avons dit, d'à peu près 1 0/0 ; elle n'est pas uniforme : un peu supérieure au centième auprès de Folkestone, elle est un peu inférieure au centième vers Deal.

L'étude de ces roches est facile; à marée basse, on peut suivre sur toute sa longueur le pied de la falaise. En partant de Folkestone, c'est la craie grise que l'on côtoie pendant cinq à six kilomètres, et l'on voit descendre et s'approcher petit à petit la craie blanche. On suit celle-ci, à son tour, jusqu'à Douvres. Là, la rivière la Dour coupe la falaise ; quand on l'a traversée et qu'on rejoint la falaise, la craie blanche a disparu et l'on n'a plus, jusqu'au bout, que la craie à silex dont les différentes assises, à leur tour, viennent, l'une après l'autre, se prêter à un très-commode examen.

Deux faits saillants frappent, dans cette excursion de 17 à 18 kilomètres :

Le premier est l'absence de toute dislocation importante. Si la craie à silex présente de nombreux fendillements, de nombreuses fissures verticales, les deux bords de ces fissures sont presque toujours restés au même niveau, et quand il y a eu abaissement de l'un d'eux, cet abaissement est toujours très-faible. Les fissures deviennent de moins en moins nombreuses à mesure qu'on descend davantage dans l'ordre des assises ; il n'en existe plus trace dans la craie grise, dont la composition très-argileuse, et, par conséquent, la plasticité explique et garantit l'imperméabilité.

Voyons sur quels terrains repose tout le massif crayeux. Si on examine le sol que la basse mer découvre devant le signal de Folkestone, on reconnaît d'abord un banc de faible épaisseur : c'est une craie bleuâtre, parsemée de nombreux points verts qui sont des grains de glauconie. Cette roche est la craie chloritée, très-argileuse auprès de Folkestone, par conséquent aussi imperméable.

La craie chloritée repose, à son tour, sur une argile compacte d'un bleu foncé ; on la désigne actuellement sous le nom de gault. L'épaisseur de ce banc atteint, auprès de Folkestone, jusqu'à 30 mètres.

Toutes ces assises se retrouvent en France. Dans la falaise au-dessous de Saint-Pol, on reconnaît une argile semblable à celle que je vous décrivais tout à l'heure,

plus noire seulement. Elle est moins épaisse qu'en Angleterre et n'a guère que 10 mètres.

A quelques cent mètres de Saint-Pol, au-dessus de l'argile, apparaît la craie chloritée. L'argile, descendant à mesure qu'on s'avance vers le nord-est, disparaît sous la mer, puis la craie chloritée à son tour. On longe alors un mur de craie grise.

Quand on a dépassé le Creu d'Escalles, la craie grise est surmontée de la craie blanche qui descend à mesure que s'enfonce la craie grise. Les parties hautes des deux Blanc-Nez seules montrent la craie à silex.

Encore n'en offrent-elles que les assises inférieures; la hauteur manque à ces falaises pour continuer toute l'épaisseur de cette craie à silex.

A partir du sommet du grand Blanc-Nez, la crête de la falaise s'abaisse rapidement, et la craie à silex ne couronne plus la craie blanche qui constitue à elle seule la falaise, dont la hauteur n'est plus que très-faible. Encore quelques mètres, le pied de la falaise est caché par des dépôts récents. Auprès du village de Sangatte, on n'a plus qu'une plaine dépassant à peine le niveau des hautes mers.

Il semble donc qu'en France de puissantes érosions aient enlevé les parties supérieures de la craie, et la déclivité de la surface du sol n'est plus en rapport avec l'inclinaison des couches. Cette inclinaison, ou plutôt celle des lignes qui, sur la falaise, séparent les différentes couches, est plus forte que sur la rive anglaise; elle atteint un et demi pour cent, un mètre et demi pour cent mètres, quinze mètres sur un kilomètre.

A partir des environs de Sangatte, on ne peut plus suivre à l'œil l'inclinaison des couches de craie recouverte par des terrains récents. Le forage d'un puits à Calais est venu montrer que cette inclinaison, considérée du moins dans la direction approximative de la falaise du Blanc-Nez, reste sensiblement constante.

Un fait, non moins important peut-être que cette régularité, a été constaté par William Philipps : c'est l'égalité, sur les deux rives, de l'épaisseur de chacun des trois groupes d'assises de la craie. Cette égalité, la régularité du plongement vers le nord-est, et le profil si peu accentué du fond du détroit, semblent exclure l'idée d'un grand bouleversement.

Ces indices et d'autres encore portent à croire que l'ouverture géologiquement récente du Pas-de-Calais est due à une simple érosion résultant peut-être d'un changement dans le régime des mers voisines. L'opinion des géologues est en général contraire à l'hypothèse d'une fracture importante.

Tel était l'état des connaissances que l'on avait des terrains du Pas-de-Calais quand sir John Hawkshaw, l'éminent ingénieur anglais, se décida avec quelques amis à tenter d'explorer le fond du détroit.

Au moyen d'une sonde que je décrirai tout à l'heure, on obtint des échantillons du fond en de nombreux points de la région voisine. Tous les échantillons, lorsqu'ils n'étaient pas du sable d'alluvion ou du gravier, se trouvèrent être de la craie.

Cette exploration sous-marine venait rassurer encore contre l'existence de grandes dislocations. Quant à l'emplacement à donner au souterrain, le choix était dicté par d'autres considérations.

Emplacement du tunnel. — Je vous disais que les assises supérieures de la craie, la craie à silex et la craie blanche, sont traversées de fissures et de délits nombreux qui laissent circuler l'eau. Ces couches supérieures ont reçu, à cause de

cela, des mineurs du Nord le nom de niveaux. Ce n'était donc pas dans ces couches qu'il fallait faire passer le tunnel. La craie grise, au contraire, et surtout sa partie inférieure (les marnes bleues que les mineurs appellent les *dièves*) est tout à fait imperméable, le souterrain devait aller la chercher.

Ce banc est, comme nous l'avons vu, au-dessus de l'eau à l'ouest de Douvres, à l'ouest de Blanc-Nez; puis il disparaît peu à peu sous le niveau de la mer; plus loin il doit former le fond du détroit, plus loin encore des épaisseurs croissantes des couches supérieures doivent le séparer de la mer.

Il faut donc que le tracé du tunnel soit reporté plus ou moins vers le nord-est, suivant qu'on voudra qu'il soit recouvert d'une épaisseur totale plus ou moins grande. On se décida, comme je le dis plus haut, pour l'épaisseur de 70 mètres environ.

L'inclinaison des couches sur l'une et l'autre rive est connue; un simple calcul de proportion donna les points cherchés. Ce fut, en Angleterre, la baie de Saint-Margaret et, en France, à peu près le milieu de la distance entre Sangatte et Calais.

En ces deux endroits des forages furent exécutés sur la rive, et, au fur et à mesure de l'enfoncement, les carottes ramenées vinrent prouver une fois de plus la régularité du prolongement.

La possibilité de l'entreprise parut alors suffisamment probable. Des propositions furent faites en 1869 aux deux gouvernements.

Je n'ai pas à dire par quelles phases les pourparlers passèrent. Vous savez qu'enfin deux sociétés se formèrent, l'une en France, l'autre en Angleterre, en vue de pousser plus loin les recherches et de faire des travaux d'exploration dont quelques-uns devront sans doute faire partie plus tard des travaux définitifs.

Aux termes de la convention passée avec le Ministre des Travaux publics et approuvée par une loi rendue le 2 août dernier, la Compagnie française doit présenter à l'approbation de l'administration le programme de ces travaux d'études. La préparation de ce programme exigeait quelques recherches, quelques essais qui furent faits pendant les mois d'août et septembre de cette année.

Il me reste à vous dire quels furent ces premiers travaux, comment ils furent exécutés et quels sont les résultats obtenus.

Comme je viens de vous l'exposer, les sondages de sir John Hawkshaw avaient confirmé les présomptions que les couches crayeuses se continuent sans lacune d'une rive à l'autre. On ne pouvait pas en conclure rigoureusement qu'il n'y a pas de fractures avec rejet plus ou moins considérable, c'est-à-dire que le percement poursuivi d'abord dans la craie grise ne rencontrerait pas les terrains inférieurs brusquement soulevés ou les couches supérieures de la craie abaissées, et dans l'un et l'autre cas des quantités d'eau considérables.

De semblables difficultés ne rendraient certainement pas impossible une entreprise d'un intérêt si grand. Mais on avait, avec raison, décidé de rechercher d'abord jusqu'à quel point on devait les craindre.

Il est évident que la possibilité du percement serait démontrée pour tout le monde si on parvenait à mettre en évidence la continuité des bancs de craie, à déterminer avec une certaine précision leur allure sous le détroit.

Pour cela il y avait un moyen, indirect il est vrai, mais qui n'en offre pas moins de sérieuses garanties. Ce moyen consistait à rechercher sur le fond du détroit, et d'une rive à l'autre, la ligne qui sépare la craie de l'argile sur laquelle elle repose, ou pour parler le langage de la géologie, la ligne d'affleurement de la base de la

craie. La forme de cette ligne décèlera infailliblement toute faille avec rejet, tout plissement qui pourrait exister dans le massif crayeux et suivant la direction où on peut les craindre.

Nous savons déjà qu'il n'y a ni cassure, ni plissement de quelque importance suivant la direction du tunnel, car de semblables accidents, s'ils existaient, atteindraient nécessairement les bords du détroit. La falaise anglaise, visible sur 17 kilomètres de Folkestone à Deal, ne présente sur toute son étendue aucune faille; de plus le plongement des couches est presque absolument rectiligne; il n'y a donc pas de plissement. La falaise française non plus ne montre aucune dislocation; si elle ne montre pas la section des couches sur une aussi grande longueur que la falaise anglaise, le puits de Calais et d'autres indications témoignent de la régularité du plongement.

Il ne pourrait donc y avoir alors d'accidents que suivant les directions qui échappent aux deux côtes, mais qui couperaient nécessairement la ligne d'affleurement de la base de la craie.

Voyons maintenant quelle serait la déformation apportée à cette ligne par une faille ou un plissement. Remarquons, d'abord, que cette ligne n'est autre chose que l'intersection, par la surface sensiblement plane du fond de la mer, de la surface de contact de l'argile et de la craie.

Si cette dernière est à peu près plane, la ligne d'affleurement sera donc à peu près rectiligne. Si cette surface est plissée ou bombée quelque part, la ligne d'affleurement présentera là une sinuosité. Enfin, si en un point il y a fracture avec rejet, la ligne d'affleurement sera discontinue, ou, plus exactement, elle aura un ressaut, un décrochement, et ce décrochement sera d'autant plus prononcé que le rejet sera plus considérable, de même qu'un bombement plus fort amènera une sinuosité plus profonde; si le bombement est brusque, la sinuosité sera de petit rayon.

Remarquons encore que tous ces accidents s'accuseront sur la ligne d'affleurement d'autant plus nettement que l'inclinaison suivant laquelle la craie repose sur l'argile est très-faible. Si cette inclinaison est de 2 pour 100, un rejet de 10 mètres donnerait un décrochement de 500 mètres ou de 10 millimètres sur la grande carte, de 25 millimètres sur la petite.

Pour peu donc que nous puissions déterminer la ligne d'affleurement avec quelque approximation, nous pourrons voir exactement, par la forme qu'elle affectera, l'allure du massif crayeux. Notez que ce qui est vrai pour la ligne de séparation d'un angle de la craie est aussi vrai pour la ligne de séparation de deux assises quelconques de la craie.

Les indications si utiles que donnerait la connaissance exacte d'une ligne d'affleurement faisaient vivement désirer qu'il fût possible d'en tracer au moins une avec quelque approximation. Mais avant d'inscrire cette recherche dans le programme des travaux d'études de la Compagnie, il fallait s'assurer que cette recherche ne serait pas impossible. C'est par des essais faits dans ce but que l'association française du tunnel a commencé ses travaux d'exploration. Ils ont fourni les importants et favorables renseignements que je vous dirai plus loin.

Sir John Hawkshaw s'était servi, pour ramener des échantillons du fond de la mer, d'un outil fort simple, se composant d'un assez long plomb de sonde portant à la partie inférieure un tube en fer à bord en biseau, aciéré, d'environ 15 centimètres de long et de 20 à 22 millimètres de diamètre intérieur. Cette sonde, l'expérience l'avait prouvé, ramenait des échantillons presque toutes les fois qu'elle

tombait sur de l'argile ou de la craie; elle ne pouvait aller chercher le terrain en place sous des alluvions de quelque épaisseur.

Les recherches qui furent faites d'un outil à la fois simple, peu sujet aux avaries, d'un maniement facile et rapide et qui pourrait pénétrer plus profondément furent sans succès. Ni les outils employés par les hydrographes, ni ceux dont on s'est servi dans les explorations des grands fonds de la mer ne pouvaient atteindre le but poursuivi dans les études relatives au tunnel. Si les hydrographes ont cherché à reconnaître, pour la signaler sur leurs cartes, la nature du fond aux approches de terre, ce n'était qu'au point de vue spécial de la tenue des ancres, et les sondages à grandes profondeurs récemment entrepris par le gouvernement anglais dans un but purement scientifique ne vont chercher au fond de la mer que les traces de la vie animale ou végétale; ils ne tendent qu'à ramener un peu des dépôts du fond.

On se servit donc de la sonde employée par Sir John Hawkshaw en en faisant varier le poids, ainsi que la longueur et le diamètre du tube aciéré.

On obtint les meilleurs résultats avec une sonde de 50 kilogrammes et des tubes de 22 à 23 millimètres de diamètre et de 20 centimètres de longueur.

Il ne suffisait pas de rapporter des échantillons, il fallait encore pouvoir reporter exactement sur la carte le point où chacun d'eux avait été pris. A cet effet, on observait, avec la lunette à réflexion, suivant la méthode ordinaire des Ingénieurs hydrographes, des points remarquables de la côte exactement rattachés à la triangulation générale de l'un et de l'autre pays. A chaque observation on relevait trois angles, le troisième comme vérification des deux autres.

La situation favorable des points de repère, le soin apporté par l'Ingénieur hydrographe expérimenté qui fut chargé de cette partie du travail, ont permis d'atteindre une exactitude presque absolue. On en jugera par ce fait que la vérification, au moyen du troisième angle, n'a donné que très-rarement un écart visible sur une carte à l'échelle de $\frac{1}{100,000}$, où 1 millimètre représente 100 mètres (Pl. 76).

Il était indispensable, comme nous l'avons vu, de connaître l'altitude du point de chaque coup de sonde rapporté à un plan fixe et cette altitude devait être déduite de la profondeur observée au-dessus du niveau de l'eau qui variait sans cesse avec la marée.

Pour pouvoir tenir compte de ces variations, on notait l'heure à laquelle était donné chaque coup de sonde; d'autre part le niveau de la mer était observé de quart d'heure en quart d'heure à Boulogne, à Calais et à Douvres. Ces divers éléments permirent de faire les corrections nécessaires. Les échantillons ramenés étaient mis dans des fioles préparées à cet effet et furent plus tard définitivement classés après un minutieux examen.

Au moyen de toutes ces données on reporta sur la carte l'emplacement de tous les coups de sonde, la profondeur en chaque point rapportée à un plan invariable et l'indication, pour ceux qui avaient donné des échantillons caractéristiques, de la nature du terrain trouvé.

La ligne de séparation de deux couches différentes passe nécessairement entre les points où l'on a constaté l'existence de l'une et ceux où l'on a trouvé l'autre.

Les travaux ont commencé tard dans la campagne dernière; la loi de concession n'avait été votée que le 2 août dernier. Ils ont dû être interrompus quand l'équinoxe

a ramené les mauvais temps. Cependant, et malgré l'imperfection d'une première installation rapidement faite, on a pu donner 1522 coups de sonde; 753 échantillons ont été rapportés, 335 purent être classés avec certitude.

Les premiers sondages furent faits dans le voisinage de la côte française. Là un point était inquiétant : la limite des terrains crayeux, dans la partie du rivage qui, devant Wissant, découvre à marée basse, se déviant de sa direction, court vers le Nord. Le point où elle reprend sa direction vers l'Ouest, pour sortir de la mer auprès de Folkestone, disparaît sous l'eau.

En ce point le changement de direction est-il brusque comme celui qui dénoncerait une faille, ou se fait-il par une courbe plus ou moins adoucie annonçant un plissement?

MM. Potier et de Lapparent, Ingénieurs des mines, membres de la Commission géologique, dont la Compagnie avait demandé le concours, rendent compte en ces termes de ces premières explorations et de celles qui suivirent :

« *Eaux françaises. Environs des Quenocs.* — Les premières journées de sondages ont montré qu'à quelques kilomètres de la côte française, l'affleurement de la craie glauconieuse courait vers l'Ouest, un peu Nord, comme en Angleterre, au lieu de courir Nord un peu Est, comme on le voit sur la plage près du Cren d'Escales, l'affleurement devait contourner le bas-fond rocheux qui porte le nom des Quenocs ou du Rouge-Ridden. La sonde ne rapportant rien sur ces roches, l'on eut recours au scaphandre. L'ouvrier remonta des Quenocs un gros bloc faisant partie, dit-il, d'un affleurement aligné de blocs semblables et dans lequel on reconnut le grès vert inférieur, calcarifère, tel qu'il se présente sur la plage à basse mer entre Wissant et Saint-Pol; l'exploration du Rouge-Ridden conduisit au même résultat.

« Les abords de ce promontoire furent étudiés alors en détail par une série de sondages, distants en moyenne de 100 mètres; les résultats de cette opération sont rapportés sur une carte spéciale au $\frac{1}{40,000}$. Grâce à la faible épaisseur des alluvions dans cette région, on a pu rapporter un assez grand nombre d'échantillons appartenant surtout aux assises IX, VIII, VII et VI (P. 77), c'est-à-dire au gault et aux assises inférieures de la craie. Les affleurements viennent tous contourner les roches de grès vert, en se succédant dans leur ordre régulier, dans quelque direction qu'on s'éloigne des roches.

« Les assises crétacées, à partir du gault, ont été seulement bombées, sans que la force qui les a soulevées fût assez énergique pour les rompre et les disloquer en ce point; une dislocation se trahirait par l'absence de continuité dans les affleurements, ou parce qu'on passerait brusquement d'une assise à une autre qui, dans l'ordre normal de succession, ne serait pas la voisine immédiate. Comme le gault (IX) a dix mètres environ d'épaisseur, et la craie glauconieuse (VIII) de 2 à 3 mètres seulement, on n'aurait certainement pas retrouvé ces couches tout autour du massif du grès vert, s'il y avait une dislocation de quelque importance sur ses bords.

« *Le milieu du détroit.* — Ce point éclairci, on a fait jusqu'aux eaux anglaises des lignes de sondages parallèles aux côtes et espacées de 500 mètres environ, sauf quelques lacunes que le temps n'a pas permis de remplir. La carte montre que partout où il a pu être déterminé, l'affleurement de la craie glauconieuse est parfaitement régulier, presque rectiligne, et que les diverses parties reconnues sont

dans le prolongement les unes des autres (en exceptant les eaux anglaises, sur lesquelles nous aurons à revenir).

« *Affleurement de la craie conglomérée.* — Les échantillons obtenus ont également permis de tracer, d'une manière très-approximative, la ligne qui sépare les affleurements des couches V et IV; la dureté, la couleur de cette dernière assise (craie conglomérée) lui donnent un caractère minéralogique assez tranché. On a pu distinguer les échantillons provenant de cette couche de ceux qui provenaient des assises V, VI et VII, et délimiter ainsi le groupe de la craie de Rouen, aussi bien à la partie supérieure qu'à la partie inférieure.

« *Détermination du plongement des couches.* — La connaissance de cette ligne nouvelle est au moins aussi importante que celle de l'affleurement de la craie glauconieuse; d'une part elle donne des renseignements sur une partie du détroit plus voisine du tunnel projeté, et de l'autre elle détermine le plongement des couches; on sait très-approximativement et les travaux ultérieurs feront connaître avec précision l'épaisseur du groupe de la craie, nettement délimité sur les deux falaises. Si la craie glauconieuse affleure en A, et que la ligne qui limite l'affleurement de la craie conglomérée passe en B, en prenant sur la verticale du point B une épaisseur de 60 mètres, on saura qu'au point C doit passer la craie glauconieuse.

« La ligne AC représentera donc l'allure souterraine de la craie glauconieuse, et l'on connaîtra l'inclinaison des couches crétacées entre les points A*g*B. Cette inclinaison est d'autant plus faible que l'espace AB, occupé par les affleurements des couches V, VI et VII, est plus grand.

« En jetant un coup d'œil sur la carte, on voit que cette nouvelle ligne subit autour des Quenocs la même inflexion que la première; ces deux lignes, distantes de 750 mètres près de la côte française, vont en s'écartant l'une de l'autre, lorsqu'on s'approche des eaux anglaises; leur distance, à l'extrémité ouest de la région explorée, est de 3,000 mètres; le plongement des couches ne subit pas de changement près des Quenocs, et diminue progressivement vers l'ouest.

« *Conclusions à tirer de ce plongement.* — Si les couches continuaient à plonger de même vers le Nord un peu Est, dans tout l'espace qui s'étend entre la région explorée et le tunnel projeté, un calcul très-simple ferait connaître en chaque point la profondeur à laquelle se trouve la craie glauconieuse, et, par suite, quelle couche on trouvera à un niveau déterminé, ce qui serait la solution complète du problème qu'on aurait à résoudre. »

Ces messieurs ajoutent que, pour des raisons qu'il serait trop long d'exposer ici, on arriverait, en opérant ainsi, à des profondeurs un peu plus grandes qu'elles ne le sont réellement.

Les sondages seront repris au retour de la belle saison. L'exploration sera alors poussée jusqu'à la rive anglaise que le temps n'a pas permis d'atteindre cette année.

Les sondages seront multipliés dans les parties où ils n'ont pas été assez serrés, et les lignes, approximativement déterminées cette année, seront précisées davantage. Les sondages seront, de plus, étendus jusqu'à la ligne projetée du tunnel, et même un peu au Nord, dans le but de trouver la ligne qui sépare la craie à silex de la craie sans silex.

Quelques-uns des échantillons recueillis dans les environs du tracé du souterrain donnent l'espoir de réussir dans cette recherche.

On peut déjà affirmer que depuis la côte française jusqu'à six kilomètres de la côte anglaise, c'est-à-dire sur 26 kilomètres sur 34, il n'y a pas de faille ni de plissement de quelque importance en dehors de celui des Quenocs.

L'exploration des eaux anglaises donnera sans doute des résultats aussi favorables.

Si, de plus, on réussit (et l'expérience de cette année semble le promettre) à déterminer la troisième ligne, on aura une connaissance exacte de l'allure des bancs de craie, et l'entreprise pourra être poursuivie ou abandonnée en toute connaissance de cause.

Je répéterai, en terminant, que chaque nouveau pas fait vers la connaissance de la configuration et de la nature des terrains donne une nouvelle raison de compter sur la réussite de l'entreprise.

M. le Président, en remerciant M. Lavalley de son intéressante communication, fait l'éloge de la méthode d'investigation si remarquable qu'il vient d'exposer, et qui conduira, il n'en faut pas douter, à la réalisation de ce grand projet du tunnel sous-marin, comme les méthodes qu'il a appliquées au percement de l'Isthme de Suez l'ont conduit en secondant la grande initiative de M. F. de Lesseps au succès le plus complet.

M. Gillot demande la parole, et il exprime qu'un fait dont on n'a pas encore tiré de conséquences vient corroborer les espérances de succès qui résultent des recherches dirigées par M. Lavalley. On peut faire en bien des points du massif montagneux des Alpes la remarque que des inflexions se sont produites dans les couches sédimentaires, comme sous l'effet d'une pression latérale, à la manière de ce qui aurait lieu pour les feuillets d'un livre, sur la tranche duquel on exercerait avec la main une action qui tendrait à refouler ces feuillets et à leur faire prendre une forme circulaire et bombée. Ce phénomène est très-visible à la Dent du Midi.

L'opinion de M. Gillot est qu'une action analogue, et non pas l'érosion des eaux, a produit la dépression du Pas-de-Calais : les couches, suivant lui, ont été refoulées par une pression latérale et cintrées vers le bas, ce qui n'a pu se faire qu'en les comprimant fortement vers le milieu de la dépression. Il croit donc que plus on avancera vers le milieu du détroit, plus le terrain sera dense et peu perméable, ce qui doit donner à l'entreprise de grandes garanties de succès.

M. Fichet, en raison des attaques dont le tunnel a été l'objet à Manchester, au point de vue financier, demande si M. Lavalley peut donner quelques renseignements sur les produits que l'on espère retirer de ce travail.

M. le Président fait observer que les noms des notabilités financières auxquelles les ingénieurs sont adjoints dans cette entreprise doivent donner toute assurance sous ce rapport.

M. Lavalley dit qu'on ne peut avoir aucune inquiétude à cet égard. Depuis plusieurs années, et pendant ces deux dernières surtout, il y a eu un grand accroissement dans le nombre des passages effectués de France en Angleterre. En ce moment pourtant le prix est très-élevé et sans comparaison possible avec le tarif ordinaire moyen de transport par chemin de fer, qui est d'environ 7 centimes par kilomètre. Si l'on adopte comme base du tarif futur 0f,25 par kilomètre, soit environ trois fois

le prix moyen des chemins de fer du Continent, les 50 kilomètres à parcourir coûteraient par voyageur 12f,50. Sur cette somme, une très-faible partie sera dépensée pour l'exploitation. En effet, on estime généralement que la moitié de la recette brute des chemins de fer passe en frais d'exploitation, soit donc 0f,035 sur 0f,070 par voyageur et par kilomètre; soit pour 50 kilomètres 1f,875. Et en forçant ce chiffre jusqu'à un tiers en plus, soit jusqu'à 2f,50, il resterait encore un excédant de 10 fr. par voyageur. Or, en suivant la progression naturelle, on aura bientôt atteint le nombre de un million de voyageurs par an. Ce serait donc un revenu de *dix millions de francs* dû aux voyageurs seulement. Que sera-ce quand une voie semblable sera ouverte entre deux capitales telles que Paris et Londres, comportant chacune plus de deux millions d'habitants?

M. le Président demande si l'on s'est préoccupé déjà d'assurer les moyens de traction et d'aération dans le tunnel.

M. Lavalley fait remarquer que, quant à la traction, le maximum de pente des raccordements du tunnel sous le détroit avec les chemins de fer existants ne dépassera pas 12 à 13 millimètres, et ne présentera donc rien d'infranchissable pour les locomotives.

Pour ce qui est de l'aération, voici ce qu'on en peut dire dès à présent : un train ordinaire brûle 10 kilog. de houille par kilomètre, soit 10 grammes par mètre, ce qui vicie au plus un cinquième de mètre cube par mètre courant. En supposant qu'on ne remplace pas cet air vicié par d'autre, au fur et à mesure de sa formation, la section du tunnel étant environ 50 mètres carrés, la proportion d'air vicié par le passage d'un train sera donc d'un cinquième de mètre cube pour 50 mètres cubes. Ce n'est, dans cette hypothèse, qu'après le passage de sept à huit trains, que l'air serait assez impur pour incommoder les voyageurs, et pour qu'on dût le renouveler en entier. Mais on peut imaginer facilement un moyen d'aspirer l'air d'une manière constante. J'ai indiqué déjà qu'on pourrait le faire par un tube placé à la partie supérieure de la voûte, et qui serait coupé sur une certaine longueur, près du milieu, au dos d'âne formé par le tracé. Des machines de force suffisante, placées aux deux extrémités du tunnel, pourvoiraient à ce travail. Il faut remarquer, d'ailleurs, qu'il n'y a dans l'année qu'un très-petit nombre d'heures pendant lesquelles la pression barométrique soit égale, sur les côtes de France et d'Angleterre; dès lors, pendant tout le reste du temps, un courant s'établira, soit dans un sens, soit dans l'autre, avec une vitesse de 3 ou 4 mètres seulement, ce courant suffirait à lui seul pour renouveler l'air de tout le tunnel en quatre ou cinq heures.

M. le Président, en acceptant comme bases des recherches les principes émis par M. Lavalley, émet l'avis qu'il y aurait lieu d'étudier s'il y aurait une difficulté insoluble à disposer sur la longueur du tunnel, une ou plusieurs alimentations d'air comprimé, et à se servir de machines à air qui seraient pourvues par ces alimentations, comme sur les chemins de fer, les machines-locomotives se pourvoient d'eau.

M. Lavalley ajoute qu'il se propose d'appeler par la suite l'attention de la Société sur les moyens qui seraient à employer pour l'exécution des travaux. La nature et la consistance du terrain permettent l'extraction sans l'emploi de la poudre ou de la dynamite; mais pour la rapidité de l'exécution il faudra faire usage de machines, et ces machines devront être telles, que l'extraction ait lieu économiquement et rapidement, tout en étant peu encombrantes et d'un service facile. La machine Brunton, qui déjà a été proposée, fait dans un terrain semblable un trou de 1m,80 de diamètre, à raison de plus d'un mètre à l'heure. Elle produit des mor-

ceaux qui ne sont pas trop petits. On peut espérer qu'avec des machines plus parfaites on aura des morceaux plus gros, et par conséquent un meilleur emploi de la force mécanique, car il ne s'agit pas de pulvériser la roche comme plusieurs inventeurs l'ont proposé, mais seulement de l'exploiter en fragments faciles à enlever.

D'ailleurs, le point capital sera de bien desservir ces machines ; on peut se rendre compte en effet que si l'on fait 10 mètres d'avancement par jour, cela conduit à un cube d'extraction de 7 à 800 mètres cubes et à 150 ou 200 mètres cubes de maçonnerie à construire. Plus on avancera, et plus les déblais et les matériaux devront être transportés loin, et dans l'embarras de cintres, d'étais et d'obstacles de plus d'un genre.

Quoi qu'il en soit, on peut supposer que les 10 mètres d'avancement moyen seront effectués par jour de chaque côté ; soit donc 20 mètres par jour ou près de 7 kilomètres et demi par an. On peut donc prévoir, si rien ne vient contrarier le travail, que l'achèvement du tunnel aurait lieu en 4 ou 5 ans.

M. Lavalley indique enfin quel est actuellement le programme des travaux à faire.

On va faire un sondage à Sangatte, dont l'exécution commencerait dans le courant de décembre, et que l'on poursuivra jusqu'au-dessous du *gault*. On espère y arriver en mai prochain et l'on déciderait alors l'emplacement du puits définitif. Au retour de la belle saison on reprendrait la suite des sondages qui viennent d'être opérés en mer pendant la campagne dernière pour reconnaître et définir le mieux possible les lignes d'affleurement des différentes couches et surtout du calcaire chlorité.

M. Delesse, ingénieur en chef des mines, invité à assister à la séance, dit qu'après les explications si intéressantes que M. Lavalley vient de donner, il n'a rien de particulier à ajouter. Il désire seulement appeler l'attention sur ce nouveau mode d'investigation et sur l'exécution des cartes géologiques sous-marines. Depuis plus de dix ans, il a suivi tout ce qui a été entrepris pour reconnaître le sous-sol des mers, et c'est la première fois qu'on soit arrivé à repérer les couches d'une manière aussi continue et aussi précise.

Ces recherches sont, du reste, possibles dans le Pas-de-Calais ; elles ne le seraient pas toujours ailleurs. Dans le détroit, le fond est balayé par de rapides courants qui entraînent les sables, et les roches étant comme avivées par le passage de l'eau, il est facile de les étudier par les témoins que rapporte la sonde. On a donc pu obtenir des résultats très-certains et qui paraissent aussi très-rassurants dans toute la partie explorée jusqu'à présent, qui était le plus à redouter sous le rapport des failles que l'on craignait d'y rencontrer. Près de la côte anglaise, les couches semblent être plus régulières, et on a moins à appréhender d'y trouver des failles. On peut donc conclure à la possibilité de maintenir le tunnel dans une même couche, en allant de France en Angleterre. Le choix de cette couche est d'ailleurs extrêmement important. Elle ne doit pas être prise parmi celles qui sont très-argileuses, car il faudrait alors craindre sa plasticité ; d'autre part, dans la craie blanche, il y aurait des infiltrations qui rendraient le travail très-difficile, mais non pas nécessairement impossible, parce que ces infiltrations se font avec une certaine lenteur ; le choix de la craie grise, qui est suffisamment compacte, résistante et imperméable, paraît le meilleur et doit donner de grandes garanties.

Une autre probabilité, quant à l'absence de failles, c'est la configuration analogue

du Weald en Angleterre et du bas Boulonnais en France, laquelle présente, dans son ensemble, un bombement régulier et une espèce de boutonnière qui est entourée par une crête de calcaires.

L'étude faite par M. Lavalley est donc très-intéressante, et elle atteint à une certitude aussi complète que si l'on suivait la série des couches sur la côte et à ciel ouvert.

M. le Président remercie de nouveau M. Lavalley de sa communication, des explications qui l'ont suivie et auxquelles la Société a pris un vif intérêt, et le prie de vouloir bien la tenir au courant des grands travaux auxquels il apporte un concours si éclairé.

MM. Delamarre, Grébus et Possoz ont été admis comme membres sociétaires et MM. Champonnois, Ferron et Gondolo, comme membres associés.

Séance du 3 Décembre 1875.

Présidence de M. Lavalley.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 novembre est adopté.

M. le Président annonce le décès de MM. Corbin, Caillet, Homburger et Schneider, et il exprime en quelques paroles les regrets que cause à la Société la perte de nos éminents Collègues.

La discussion est ouverte sur la communication de M. Arsòn, sur les règles observées par la Compagnie Parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz, dans la construction des gazomètres.

M. Arson rappelle quelques-uns des points principaux de la note qu'il a communiquée à la Société.

La construction des cuves de gazomètres est, de la part de la Compagnie Parisienne, l'objet de méthodes spéciales et hardies qui n'ont rien de commun avec les règles généralement admises en théorie. Ainsi on donne ordinairement aux murs qui soutiennent une pression d'eau une épaisseur à la base égale à la moitié de leur hauteur. On serait donc amené, pour les cuves de certains gazomètres dans lesquels l'eau s'élève à 14 mètres, à donner aux murs une base de 7 mètres, ce qui serait presque impossible à réaliser, et en tous cas extrêmement dispendieux. Tous les constructeurs d'usine à gaz ont successivement réduit les épaisseurs indiquées par la théorie, et ils sont arrivés à une limite extrêmement faible, au 1/10e même de la hauteur comme épaisseur à la base. Il était naturel de chercher la raison de la stabilité de gazomètres construits dans ces conditions, et l'on a reconnu que la résis-

tance du terrain était le seul moyen d'expliquer ce résultat. En conséquence on a fait des essais pour déterminer jusqu'à quelle limite les différents terrains peuvent être comprimés sans déformations, et l'on a trouvé que pour le sable ce pouvait être 100 kil. par décimètre carré, pour les tufs 80 kil. et pour les terres 40 kil. Plusieurs ouvrages ont été construits avec un plein succès, mais d'autres causes de non succès peuvent aussi se produire. Il y a donc encore des observations à faire, d'autant plus que certains accidents que l'on a éprouvés ont présenté des caractères différents de ceux que l'on pouvait prévoir.

Ainsi, quand une fente se déclare, elle s'ouvre presque toujours à la partie supérieure de la cuve, où la pression de l'eau est nulle, et elle descend verticalement jusqu'à une profondeur plus ou moins grande.

Un autre fait très-remarquable s'est produit dans une cuve de 150 mètres de pourtour et de 14 mètres de hauteur, établie entièrement dans le sable, et construite en maçonnerie de moellons durs et mortier de ciment de Portland, derrière laquelle le pilonnage avait eu lieu avec grand soin. Lorsque l'eau vint à s'élever jusque près du plus haut niveau, une fente de 1 millimètre 1/2 se produisit du haut en bas, et suivant une génératrice verticale. L'explication de ce fait paraît difficile; il prouve en tous cas qu'on ne peut guère compter sur l'élasticité que l'on accorde à la maçonnerie, puisque sur un cercle de 150 mètres de développement, cette élasticité n'a pas été suffisante pour parer à une extension de 1 millimètre 1/2; et s'il est à supposer que cette élasticité existe dans une certaine mesure quand la maçonnerie est soumise à un effort de compression, on peut dire que la maçonnerie doit avoir très-peu d'élasticité sous un effort de traction.

Quoi qu'il en soit, M. Arson appelle l'attention des Ingénieurs, et la discussion roule sur ce fait nouveau. Il rappelle aussi en quelques mots les explications qu'il a données sur le mode de guidage des cloches de gazomètres par galets tangentiels, au lieu de celui par galets normaux. Par l'emploi du premier système, il ne peut se produire sous l'action du vent qu'un déplacement de la cloche sans déformation du système composant le guidage, tandis que la seconde disposition n'empêche pas la tendance à la déformation.

M. De Dion demande comment se fait le pilonnage des remblais, et s'il a lieu au fur et à mesure de l'exécution de la maçonnerie.

M. Arson répond que c'est pendant que se fait la construction que s'opère le remblai, mais on a grand soin de laisser écouler cinq ou six jours au moins entre l'exécution de la maçonnerie et celle du remblai. Il importe surtout que le pilonnage ait lieu bien horizontalement. On considère cette précaution comme très-essentielle; on jette le sable comme on sème le grain à la volée, et les pilonneurs le tassent au fur et à mesure sans discontinuer, de telle sorte qu'aucune partie n'échappe à l'action des pilons. On obtient ainsi un sol d'une compression comparable à celle des plus vieux terrains.

M. le Président voit dans le fait des ruptures qui se produisent par le haut, et non par le bas, une indication de ce que les couches inférieures étant plus comprimées puisqu'elles reçoivent l'action du pilonnage successif et du poids des couches supérieures, le pilonnage n'est peut-être pas aussi énergique en haut qu'en bas, ce qui expliquerait la production des fuites d'abord à la partie supérieure.

M. Arson ne croit pas qu'il y ait d'influence exercée sur les couches inférieures par le pilonnage des couches supérieures. Il se produit par le damage un enchevêtrement de tous les grains de sable les uns dans les autres, et lorsque cet effet est

obtenu dans une capacité fermée, la compression n'augmente plus. Il y a là une dérogation qui paraît complète à la loi qui est généralement admise pour la poussée des terres à leur état naturel, à savoir que la pression sur un mur de soutènement serait produite par le glissement d'un prisme de poussée, dont le maximum d'action aurait lieu au centre de gravité, soit au tiers de la hauteur. La compression, au contraire, produit une même pression de haut en bas, et le centre de poussée est réparti à la moitié de la hauteur. Il y a d'ailleurs une différence complète entre les propriétés du sable non comprimé et du sable tassé. Le premier est le sol le plus meuble et le plus instable parce que ses grains glissent les uns sur les autres; le second, au contraire, est très-compacte et constitue le terrain le plus rebelle à l'enfoncement des pieux, comme le plus résistant pour les remblais. Ce sable a pris alors un état d'agglomération particulier qui le fait résister comme un corps solide non élastique, c'est cet état que l'on cherche à produire.

M. Badois remarque que dans le fait de rupture cité par M. Arson la fente s'est comportée comme s'il y avait eu retrait ou contraction. N'y aurait-il pas, en effet, une action de retrait du ciment, soit par sa nature même, soit par une différence de densité dans les échantillons fournis?

M. Arson ne le pense pas. Des essais ont été faits sur le retrait que peut occasionner la prise du ciment de Portland dans différents états de mélange avec le sable. Employé pur, le mortier de ciment a montré des fissures espacées tous les 0m,30 en moyenne; mélangé avec une égale partie de sable, les fissures ne se formaient plus que tous les mètres; avec deux parties de sable, elles disparaissaient presque entièrement; enfin le mortier composé de 1 partie de ciment et de 3 parties de sable a donné une surface étendue tout à fait exempte de fissures. C'est ce mortier qui est employé dans la maçonnerie des cuves. D'ailleurs le ciment de Portland ne fait pas prise trop rapidement, ce qui permet de l'employer avec facilité, et cependant, quoiqu'il n'atteigne toute sa dureté que quelques jours après son emploi, on peut considérer que sa prise est complète dès le deuxième ou troisième jour. C'est à ce moment que se produirait le retrait s'il devait y en avoir.

Quant à la différence possible de densité des ciments fournis, elle ne pourrait avoir d'influence sur un accident qui a intéressé toute la hauteur de l'ouvrage puisque la construction s'effectue par assises horizontales et en couronne.

M. Paul croit qu'on pourrait attribuer l'effet en question à une contraction causée par une différence entre la température de la maçonnerie et celle de l'eau introduite dans la cuve. Il dit que les maçonneries, surtout celles composées de meulière et de ciment, sont beaucoup plus sensibles qu'on ne serait disposé à le croire aux effets de la chaleur, quant aux dilatations et contractions qui en résultent; il a remarqué de nombreux faits qui le prouvent et cite en particulier l'exemple d'une arche de 30 mètres d'ouverture, d'un neuvième de flèche, construite en meulière et ciment de Portland, qui sous l'influence d'un changement de température de 20 degrés centigrades s'élevait ou s'abaissait à la clé de 5 centimètres.

M. Arson confirme que la fente de la cuve a eu lieu sous pression : la température de l'eau n'était pas très-différente de celle de la maçonnerie, et l'eau n'a été introduite dans la cuve que trois mois après sa construction; d'autres ouvrages dans les mêmes conditions n'ont pas donné lieu à des accidents semblables.

M. le Président se rappelle un exemple de fente tout à fait verticale de haut en bas, dont il fut témoin pour un réservoir d'eau. Dans ce cas il n'y avait aucun

doute à avoir sur la cause de l'accident, qui provenait d'un pilonnage mal exécuté; la réparation consista à fretter le réservoir à l'extérieur et à refaire le pilonnage avec plus de soins.

M. Arson indique que c'est ainsi que s'effectue la réparation de l'accident qu'il a signalé et même la consolidation d'ouvrages semblables qui n'ont pas subi d'accident.

M. De Dion indique les expériences qu'il a eu l'occasion de faire sur la résistance du sable. Si on pose sur un tas de sable conique un plan dont on augmente progressivement le poids, on remarque que la pression par suite de surface d'appui du plan augmente rapidement surtout quand la base du cône et le plan comprimant se rapprochent; on remarque également en se servant d'un plan en verre que le grain de sable une fois en contact avec le verre n'a aucun déplacement horizontal. Le déplacement horizontal du sable se fait donc par des décompositions de surfaces de glissement dans la hauteur comprise entre la base du cône et le plan comprimant. Il est donc naturel d'admettre que le sable en se déplaçant subit un frottement qui va en croissant de l'extérieur à l'intérieur du disque comprimé, suivant une loi qui dépend de l'épaisseur de ce disque.

Pour du sable compris entre deux surfaces verticales, et un plan horizontal inférieur, la résistance au déplacement doit être beaucoup plus considérable à la partie inférieure qu'à la partie supérieure.

M. Arson, ainsi qu'il l'a déjà fait remarquer, conteste qu'il puisse y avoir comparaison entre le sable formant un remblai à talus naturel, avec le sable pilonné derrière les cuves de gazomètres, dans une enceinte, par conséquent, et avec les soins qu'il a indiqués. La forme du cône de sable expérimenté par M. De Dion ne permet pas de supposer qu'il y ait pilonnage : si l'on pèse sur le sommet, le centre est en effet beaucoup plus comprimé que le reste; tandis que derrière les cuves le sable arrive à avoir une compression sensiblement égale dans toutes ses parties.

M. le Président croit qu'il serait intéressant de s'assurer si la compression ne devrait pas être plus forte au fur et à mesure qu'on s'élève.

M. Arson prend bonne note de cette remarque et fera faire des expériences dans ce sens.

M. De Dion a voulu aussi déterminer la pression du sable sur la base d'un tuyau. Il s'est servi d'un tube de $63^{m}/_{m},5$ de diamètre rempli d'un sable très-sec et très-fin, mélange de fer titané et quartz. Lorsque le tube est mis verticalement sur le plateau d'une balance, rempli de sable bien tassé et qu'on enlève doucement le tube, le plateau de la balance suit le mouvement tant que le contre-poids est supérieur à 120 grammes. Avec du sable simplement versé sans tassement, le contrepoids dut être de 300 grammes; il diminue et se rapproche de 120 grammes si on tasse le sable. La densité du sable tassé était de 2,57.

Il en résulte que la pression sur la base du tube est égale à un cône dont la génératrice fait avec la surface du tube un angle égal à celui du glissement du sable.

M. Arson s'explique facilement les effets constatés dans les expériences de M. De Dion; si à mesure qu'on tasse le sable la pression diminue, cela tient à ce que le sable se comprime horizontalement et justement; dans les conditions recherchées par la Compagnie Parisienne, on veut faire produire au sable la plus grande compression horizontale possible.

M. Gigot fait remarquer que si la fuite présente la même ouverture en bas qu'en

haut, cela indique que les pressions du sable sont égales, car autrement la fissure eût été plus ouverte là où la résistance eût été moindre.

M. Arson indique de quelle manière le travail de construction a eu lieu. A la partie inférieure de la fouille existait une épaisseur de 4 mètres de sable ancien, très-dur, qu'on a taillé à pic, au diamètre de la cuve et contre lequel on a forcé les moellons; il y avait entre ce terrain et le remblai pilonné qu'on fit au-dessus une mince couche d'argile, or la fente s'est produite aussi bien dans la partie inférieure correspondant au terrain ancien que dans la partie supérieure correspondant au remblai. On a pu s'assurer d'ailleurs par les fouilles qui ont été faites pour la réparation, que le sable pilonné était aussi compacte et se taillait aussi bien à pic que le terrain ancien.

M. le Président remercie M. Arson des explications et des détails intéressants qu'il vient de donner à la Société, et lui laisse la parole pour une communication sur l'anémomètre, mesure de la vitesse du vent.

M. Arson fait remarquer d'abord combien les appareils qui ont servi jusqu'ici à mesurer la vitesse du vent présentent d'imperfection et d'incertitude dans leurs résultats. Il s'en suit que les seules données connues sur la question sont celles publiées par Coulomb, sur l'exactitude desquelles on peut même concevoir quelques inquiétudes. En tous cas, si les chiffres de Coulomb sont applicables dans l'étude des questions qui intéressent la marine, ils ne peuvent être employés sans corrections, pour déterminer la poussée horizontale que le vent imprime à un ouvrage fixe, différant beaucoup d'un plan. Il était donc nécessaire de faire de nouvelles études sur ce sujet, en repoussant d'ailleurs pour la mesure des vitesses de l'air les appareils à rouages mécaniques nombreux, se mouvant avec vitesse, ou ceux qui pourraient produire dans l'air un trouble capable de changer ou de compliquer le fait à observer.

M. Arson explique comment il a trouvé dans le théorème de Bernouilli sur l'écoulement des liquides la base d'un nouvel appareil propre à mesurer la vitesse de l'air par le phénomène même de son écoulement.

Ce théorème exprime que si l'on considère un tronçon horizontal de conduite dans lequel se meut un fluide quelconque, et qu'on suppose qu'il existe en un point de ce tronçon un rétrécissement parfaitement évasé, on peut dire que la différence des hauteurs dues aux pressions en deux points situés avant et dans le rétrécissement est égale et de signe contraire à la différence des hauteurs dues aux vitesses correspondantes en ces mêmes points.

Or si l'on fait en sorte que la vitesse dans l'étranglement soit dans un rapport fixe et connu avec la vitesse avant cet étranglement, la lecture sur un manomètre de la différence entre les hauteurs dues aux pressions atmosphériques, d'une part, et derrière le rétrécissement, d'autre part, conduira immédiatement à la connaissance de la vitesse cherchée.

M. Arson développe quelles sont les conditions à remplir pour qu'il en soit ainsi, et décrit l'appareil qu'il a fait exécuter pour les réaliser.

Il relate que des expériences ont été faites sur cet appareil, au moyen d'un gazomètre spécial, donnant des vitesses déterminées et régulières, et que ces expériences ont confirmé les prévisions théoriques, mais ont montré qu'il y avait lieu de tenir compte d'un coefficient de correction de 0.94. Il a reconnu d'ailleurs que la longueur minimum que devait avoir le tuyau cylindrique, après le rélargissement brusque, n'avait pas besoin de dépasser quatre fois le diamètre.

M. Lencauchez donne ensuite lecture de sa communication sur une nouvelle pompe à air comprimé de MM. Geneste et Herscher.

Il rappelle d'abord quelles ont été les premières applications en grand de l'air comprimé aux travaux de fondation, et il indique que les pompes de compression qui y ont été employées appartenaient à un même type dérivé de la pompe de M. Huguet pour comprimer à 12 atmosphères le gaz portatif.

M. Sommeiller pour les travaux du tunnel du Mont-Cenis perfectionna ce type et inventa une machine à piston, dite *Compresseur hydropneumatique,* mais qui n'a servi que pour des pressions inférieures à 7 atmosphères.

MM. Geneste et Herscher ont cherché à produire des pressions d'air de 25 à 30 atmosphères applicables aux besoins de la locomotion, de la poste atmosphérique, au percement des tunnels et aux travaux des mines.

Le compresseur hydropneumatique de MM. Geneste et Herscher diffère de celui de l'illustre Sommeiller, en ce qu'il est formé de deux cylindres inégaux, comme dans une machine Woolf. Le grand cylindre échappe dans l'aspiration du petit; en conséquence, si le grand cylindre comprime l'air au $\frac{1}{5}$ de son volume primitif (soit de celui qu'il occupe sous la puissance atmosphérique 1.76), et si le petit cylindre donne ensuite une égale compression, la réduction finale du volume sera de $\frac{1}{5} \times \frac{1}{5} = \frac{1}{25}$, à quoi correspond une pression vingt-cinq fois plus considérable que celle avant l'aspiration, si d'ailleurs l'air n'a pu s'échauffer sous l'action de cette compression.

Le compresseur Geneste et Herscher diffère encore de celui de feu Sommeiller en ce que les pistons des pompes sont remplacés par des plongeurs, ce qui donne la faculté de pouvoir serrer leurs garnitures pendant la marche, en permettant d'atteindre les hautes pressions de 25 à 30 atmosphères, alors qu'une pompe ordinaire à piston faisant joint sur la paroi du cylindre ne saurait atteindre à de si hautes pressions, sans donner lieu à des fuites considérables de liquide entre le piston compresseur et le corps de pompe. Enfin, MM. Geneste et Herscher, pensant avec raison qu'une compression aussi considérable que celle de 25 atmosphères produirait un grand échauffement, ont doté leur appareil d'injecteurs automoteurs, rafraîchissant l'air au fur et à mesure qu'il se comprime.

Les dispositions de l'appareil sont les suivantes :

1° Les pistons sont à mouvements parallèles et symétriques, leurs manivelles divisant le cercle en deux parties égales;

2° Les corps de pompes sont horizontaux, groupés sur le même bâti qui porte en même temps les paliers de l'arbre moteur sur lequel sont calées les deux manivelles sous 180°;

3° Le travail résistant, quelle que soit sa pression finale, est le même sur chacune des manivelles;

4° Les boîtes extérieures des presse-étoupes sont disposées pour servir de glissière aux têtes de tiges des pistons plongeurs;

5° Les boîtes à clapets ou clapots surmontent des tuyaux verticaux, faisant suite aux corps de pompes; ces tuyaux, comme les coudes qui les raccordent aux corps de pompes, ont les diamètres respectifs de ceux-ci afin de faciliter le mouvement du liquide intermédiaire dans l'appareil; la capacité des tubes verticaux est envi-

ron le double de celle du volume engendré par un coup de piston, afin que celui-ci soit constamment noyé pour s'opposer à toute fuite d'air ou de gaz;

6° Les clapets sont aussi noyés et surmontés de colonnes d'eau, même ceux d'aspiration, dont la colonne a environ 0,15 de hauteur quand les pistons sont à fond de course; cet ingénieux dispositif, que je crois dû à M. J. Farcot, fait que même pour les pompes à air faisant des vides de 0,72 à 0,73, aucune fuite d'air ou de gaz n'est possible, attendu que quand les appareils ont des imperfections matérielles, seules les fuites du liquide peuvent se produire; chose capitale, car par un orifice de fuite, 25 à 30 litres d'air s'échapperaient dans le même temps qu'un litre de liquide;

7° La partie supérieure des clapets porte suspendue une boîte percée de nombreux petits trous comme les parois d'une écumoire; pendant le refoulement, cette boîte se remplit d'eau en forçant l'air à la traverser, ce qui a pour effet de faire céder à cette eau tout le calorique développé par la compression. Pendant la période d'aspiration, la boîte à eau laisse tomber une pluie réfrigérante qui rafraîchit l'enceinte dans laquelle l'air aspiré vient se précipiter. Au refoulement suivant, la boîte n'a pu se vider entièrement pendant l'aspiration, l'air comprimé traverse simultanément la pluie réfrigérante et les nombreux petits orifices de la boîte à eau en barbottant en plein liquide, de sorte qu'au fur et à mesure qu'il s'échauffe, il est dépouillé de son calorique sensible par cette eau, au milieu de laquelle il passe à l'état de division extrême;

8° L'air comprimé soulève le clapet de refoulement, puis traverse un disque grillé servant de buttée, limitant la course de ce clapet; ce disque diviso encore une fois l'air qui est à nouveau forcé à traverser une colonne d'eau de $0^m,30$, occupant environ le 1/3 de la hauteur du récipient à air qui surmonte ledit clapet de refoulement;

9° Le clapet d'aspiration est aussi noyé; la cuvette de ce clapet reçoit, d'un tuyau réglé par un petit robinet, un courant d'eau continuel; de sorte qu'à chaque aspiration environ 5 pour 100, ou 1/20e du volume engendré par le piston de la pompe, pénètre dans l'appareil à l'état d'eau froide; cette eau sert à renouveler lentement celle qui se perd par les fuites et l'évaporation;

10° Le récipient d'air comprimé qui surmonte le clapet de refoulement porte le tuyau d'évacuation; celui-ci est divisé en deux branches : l'une supérieure, plus grosse, et l'autre inférieure, plus petite, par laquelle s'échappe l'eau en excès. Cette disposition laisse constamment un matelas d'air comprimé dans le récipient, ce qui a pour effet de rendre impossible les chocs d'eau ou coups de bélier, même à grande vitesse;

11° Dans le tuyau de refoulement, le courant est dirigé de haut en bas, de sorte que l'air et l'eau se trouvent encore réunis pour cheminer conjointement jusqu'à l'aspiration de la seconde pompe pour y être comprimés à nouveau, ou jusqu'à un récipient de purge à flotteur et à écoulement continu débarrassant sans perte l'air comprimé et froid de cette eau réfrigérante, qui en même temps a été si utile pour remplir les espaces nuisibles;

12° La seconde pompe est en tout semblable à la première comme disposition, donc sa description est identique. Elle ne diffère qu'en un point : la section de son piston plongeur n'est que 1/5e de celle du plongeur de la première pompe, la course étant la même.

Comme je l'ai déjà dit, quand la petite pompe aspire, la grosse refoule, et réci-

proquement; de sorte que le refoulement de la grosse pompe se fait dans l'aspiration de la petite, donc la machine est un appareil à simple effet et à deux pistons pour compression additionnelle et successive;

13° Le récipient d'air de refoulement de la petite pompe reçoit une injection d'eau due à un jet liquide produit par un syphon placé sous un second clapet de refoulement; ce dispositif additionnel ne change rien à ce que je viens de dire pour la grosse pompe, mais ce second clapet doit être considéré comme une soupape de retenue et de sûreté; or, comme entre ces deux clapets de refoulement se trouve la branche plongeante du syphon, dès qu'il y a excès de pression par suite de l'arrivée de l'air de refoulement, la branche supérieure de ce syphon lance un jet d'eau réfrigérant dans l'air comprimé d'évacuation afin de le rafraîchir encore une fois;

14° Enfin, l'air comprimé et l'excès d'eau, que les pertes réduisent à 2 ou 3 1/2 pour 100 du volume primitif d'air aspiré, se rendent dans le récipient de purge où l'eau est chassée, ainsi que je l'ai dit déjà au n° 11. Ce récipient doit être placé dans une cuve à double fond, parcourue par un courant d'eau froide à 12° (eau de puits ou de source), afin qu'à cette basse température l'air comprimé soit aussi bien purgé que possible des vapeurs d'eau qu'il possède ; attendu que cette vapeur de saturation pourrait, par suite d'un abaissement de température dû à la détente de l'air, se transformer en neige ou en glace dans l'intérieur des tuyaux de conduite en les obstruant plus ou moins, au point même, dans certains cas, d'arrêter complétement son écoulement.

M. Arson demande quel est l'intérêt qu'il y a à l'emploi de deux cylindres compresseurs pour des pressions relativement peu considérables. Il lui semble que pour des pressions de 5 ou 6 atmosphères il serait plus simple d'opérer la compression directement dans un seul cylindre.

M. Lencauchez fait remarquer que MM. Geneste et Herscher n'ont été conduits à diviser l'action de leur pompe que parce qu'ils avaient à obtenir des pressions de 25 à 30 atmosphères; l'avantage qui en résulte est de diviser les résistances qui s'exercent sur les manivelles, et de demander ainsi à la machine un travail plus régulier. Un certain nombre de fuites sont aussi diminuées. Pour des pressions ordinaires, ces avantages se trouvent amoindris et la complication pourrait en effet les compenser.

MM. Bramwell, Gouin, Jouffret, Durassier et Spée ont été admis comme membres sociétaires et M. Chameroy comme membre associé.

Séance du 10 Décembre 1875.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE.

Présidence de M. Lavalley.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. le Président rappelle que les deux propositions de modification des Statuts et du Règlement qui sont portées à l'ordre du jour ont été déposées depuis longtemps sur le bureau de la Société et ont été adoptées par le Comité.

La première, qui est relative à la composition du Comité, présente un certain caractère d'urgence.

Elle consiste à modifier l'article 8 des Statuts et à lui donner la forme suivante :

« L'administration de la Société et l'organisation de ses travaux sont confiées à un Comité électif, composé de trente membres, *des Présidents honoraires et de tous les anciens Présidents*; dix des membres du Comité forment le Bureau. »

Cette modification est désirable à plusieurs points de vue; il est utile, pour conserver dans le Comité la tradition et une sorte de jurisprudence aujourd'hui à peu près fixée, de le faire profiter de l'expérience acquise par les anciens Présidents, qui ont été chargés de veiller, chacun à leur tour, au maintien des Statuts. C'est ce qui se faisait en pratique, la Société ayant toujours conservé l'usage de faire figurer les anciens Présidents dans le Comité. Seulement il en résultait nécessairement que le nombre des autres membres était de plus en plus restreint, et il en fût promptement résulté une difficulté sérieuse, au point de vue du renouvellement du Comité.

C'est pour cela qu'on propose aujourd'hui à la Société de décider que les anciens Présidents feront de droit partie du Comité, comme les Présidents honoraires, et par conséquent en dehors des trente membres ordinaires du Comité.

La modification de l'article 8 des Statuts est mise aux voix et adoptée.

La seconde proposition qui figure à l'ordre du jour consiste à faire à l'article 30 du Règlement, ainsi conçu : « Les Sociétaires se réunissent le 1er et le 3e vendredi de chaque mois, » l'addition ci-après :

Tous les ans les séances seront supprimées après la première séance de juillet, et reprendront à la deuxième séance d'octobre. Le Comité pourra en cas d'urgence convoquer les Sociétaires pendant les vacances.

M. le Président rappelle que l'habitude de la Société est toujours de supprimer

plusieurs séances pendant l'été, à l'époque où les réunions sont peu suivies, et où on est quelquefois embarrassé pour la composition de l'ordre du jour, à cause du petit nombre de membres présents à Paris. Plusieurs de nos Collègues ont proposé d'établir des vacances à l'imitation de ce qui se fait dans la plupart des Sociétés analogues à la nôtre. Le Bureau, saisi de la question par le Comité, lui a été favorable; il est bien entendu, d'ailleurs, que le Comité continuera à se réunir tous les mois, pour l'organisation des travaux de la Société.

M. Maldant demande la parole contre la proposition qui vient d'être faite. Il déclare qu'autant la proposition votée précédemment lui a paru bonne et légitime à tous égards, autant la seconde lui paraît exagérée, fâcheuse et sujette à discussion; quant à lui, il n'hésite pas à se prononcer nettement contre la suppression de trois mois de nos séances et de nos procès-verbaux.

M. Maldant comprendrait qu'on demandât pour notre Société, comme pour beaucoup d'autres institutions, des vacances régulières, mais à la condition que ces vacances n'excédassent pas le délai de *six semaines*, dont on se contente généralement. En conséquence, il demande à opposer à la proposition du Comité la contre-proposition suivante : *Chaque année, la seconde séance d'août et les deux séances de septembre seront supprimées.*

M. Loustau rappelle que la Société de Géographie et la Société de Géologie ont des vacances aussi longues que celles qui sont proposées pour la Société.

M. Gillot indique à ce sujet que si la Société de Géologie a quatre mois de vacances, c'est seulement pour permettre les excursions géologiques qui ne peuvent se faire que dans cette période de l'année; il y a là nécessité absolue, et on ne peut en tirer aucune induction applicable à notre Société.

M. Richard ne partage pas l'avis de M. Gillot et croit, au contraire, que l'observation qu'il vient de faire est tout à fait applicable à la Société des Ingénieurs civils, dont les membres profitent de cette même saison pour le repos des vacances.

M. Vée pense que toute appréhension doit être écartée du fait que le Président de la Société conserve toujours le droit de convoquer des séances extraordinaires, et que par suite la mesure proposée n'aura pas pour effet d'empêcher absolument les réunions pendant l'été.

M. Maldant, répondant à l'observation faite par M. Loustau, indique que les deux Sociétés dont il a parlé sont de celles qui utilisent, dans *l'intérêt social,* le temps de la suspension de leurs travaux ordinaires; mais qu'en tous cas ces longues vacances sont des exceptions, et il croit de l'intérêt de notre Société de ne pas venir augmenter le nombre de ces exceptions. D'ailleurs, si la Société devait suspendre toute manifestation de son existence pendant un quart de l'année, chacun ne pourrait-il y voir l'indice d'une impuissance ou d'une lassitude dont nous devons soigneusement éviter toutes les apparences ? M. le Président a parlé du petit nombre de membres assistant aux séances des trois mois d'été; mais n'est-ce pas le cas de répéter ici publiquement ce que beaucoup de nous se disent en particulier, c'est qu'on pourrait peut-être faire plus qu'on ne fait pour augmenter l attrait et l'intérêt de nos réunions.

Les Sociétés comme la nôtre, qui peuvent recevoir des dons, qui s'occupent d'une foule de questions d'intérêt général et qui ont de jeunes collègues à aider, n'ont qu'à gagner à faire parler d'elles.

M. Maldant croit qu'on néglige peut-être des occasions faciles de faire apprécier les travaux de la Société, comme, par exemple, en ne remettant pas aux princi-

paux journaux, ainsi que cela a été fait quelquefois, des analyses sommaires de nos séances. En tout cas, si, par suite d'une pénurie imprévue dans les sujets à l'ordre du jour, la suppression supplémentaire d'une séance devenait nécessaire, il serait toujours facile d'en aviser les membres.

M. Jordan se rallie à la proposition de M. Maldant; il croit que des vacances de trois mois dépassent le but qu'on se propose. Il est devenu d'usage, depuis plusieurs années, de supprimer trois séances pendant l'été, cela reviendrait à six semaines. Deux mois lui paraissent le maximum acceptable.

Un Membre demande si la diminution du nombre des séances ne réagira pas sur le nombre des communications, et si par conséquent il n'en résultera pas un amoindrissement des travaux de la Société et une certaine privation pour la généralité des Membres.

M. Barrault pense qu'il est nécessaire de préciser la question; nous nous trouvons en face d'un article du Règlement qui fixe deux séances par mois; or on a pris depuis longtemps l'habitude de supprimer trois séances en été; seulement on en supprime une chaque mois, de sorte qu'il est actuellement impossible de suivre les séances et de prendre des vacances, tandis que la mesure proposée permettait de prendre un congé plus ou moins long, soit de six semaines, de deux mois, de trois mois.

M. Barrault demande donc qu'on décide d'abord en principe la suppression de plusieurs séances successives, on en discutera après le nombre. Il rappelle d'ailleurs que le Règlement indique le minimum des séances, et qu'on peut toujours en augmenter le nombre, si l'abondance des communications le demandait.

M. de Bruignac accepte les vacances en principe, il propose de les fixer aux mois d'août et de septembre.

M. Dallot est du même avis.

M. Jordan dit qu'il ne faut pas oublier que la Société comptant actuellement 1300 membres environ, les membres qui fréquentent les séances sont l'exception. Les procès-verbaux des séances et les publications de la Société sont la manifestation de sa vie, et intéressent la totalité des membres.

Il croit que le maximum qu'on puisse admettre pour l'interruption des travaux de la Société est de deux mois, il préférerait même six semaines, du 15 août au 30 septembre.

M. Maldant considère la proposition de M. Jordan comme lui donnant pleine satisfaction et il s'y rallie, en demandant que la suppression porte sur la seconde séance d'août et les deux de septembre.

M. Badois croit qu'on peut sans aucun inconvénient y ajouter la première séance d'octobre, car à cette époque beaucoup de membres ne sont pas encore revenus à Paris.

M. Marché estime, en présence des divergences d'opinion qui se produisent, qu'il serait peut-être préférable de ne pas faire de la question des vacances une question statutaire, et de laisser chaque année à l'assemblée générale de juin le soin de décider la suppression d'un certain nombre de séances.

M. le Président pense que toutes les opinions ont été produites, et que la discussion peut être close.

Il propose à l'Assemblée de diviser les questions du nombre des séances à supprimer et de leurs dates, et sur l'approbation de l'Assemblée met aux voix la suppression de trois séances.

L'Assemblée décide la suppression de trois séances.

Consultée sur la date de ces séances, l'Assemblée décide la suppression de la deuxième séance d'août et des deux séances de septembre.

La séance est levée à 9 heures.

Séance du 17 Décembre 1875.

Présidence de M. LAVALLEY.

La séance est ouverte à huit heures et demie du soir.

Le procès-verbal de la séance du 3 décembre est adopté.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'Exposé de la situation financière de la Société.

M. LOUSTAU indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 18 décembre 1874, de

cembre 1874, de	1191
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de	109
	1300
A déduire, par suite de décès, démissions et radiations pendant l'exercice 1875	37
Nombre total des Sociétaires au 17 décembre 1875	1263

Les recettes effectuées pendant l'exercice de 1875 se sont élevées à :

	fr. c.	fr.
1° Pour le service courant, cotisations, etc.	43,056 00	44,964 00
2° Pour le fonds social inaliénable, exonérations, dons volontaires	1,908 00	
Il reste à recouvrer en droits d'admission et cotisations		17,919 00
Total de ce qui était dû à la Société		62,883 00
Au 18 décembre 1874, le solde en caisse était de	16,016 45	60,980 45
Les recettes effectuées pendant l'exercice de 1875 se sont élevées à	44,964 00	
Les sorties de caisse du semestre se sont élevées à :		
1° Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, intérêts de l'emprunt, etc.	37,563 85	53,410 50
2° Achat de 50 obligations du Midi au porteur, à porter à l'avoir du fonds courant	15,846 65	
Il reste en caisse à ce jour		7,569 95

La Société possède en outre, comme fonds social inaliénable, un hôtel qui a coûté une somme de 273,706 fr. 90 c.

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier; ces comptes sont approuvés.

M. le Président adresse au nom de la Société des remerciements à M. Loustau, pour sa bonne gestion et son dévouement aux intérêts de la Société.

Il est ensuite procédé aux élections des Membres du Bureau et du Comité pour l'année 1876.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président :

M. Richard (Jean-Louis).

Vice-Présidents :

MM. De Dion (Henri).
Mathias (Félix).
Goschler (Charles).
Arson (Alexandre).

Secrétaires :

MM. Mallet (Anatole).
Badois (Edmond).
Tresca (Alfred).
Rey (Louis).

Trésorier : Loustau (G.).

COMITÉ.

MM. Farcot (Joseph).
Forquenot (Victor).
Desgrange (Hubert).
Marché (Ernest).
Brüll (Achille).
Demimuid (René).
Périssé (Jean).
Chobrzynski (Jean).
Chabrier (Ernest).
Péligot (Henri).

MM. Morandière (Jules).
Caillaux (Alfred).
Barrault (Émile).
Vée (Léonce).
Ermel (Frédéric).
Dallot (Auguste).
Ronna (Antoine).
Rubin (Arthur).
Courras (Philippe).
Mayer (Ernest).

ANALYSE

D'UN RAPPORT DE MISSION DE M. **Malézieux**, INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES

SUR LES

CHEMINS DE FER ANGLAIS

PAR M. **DORNÈS.**

INTRODUCTION

M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, dont l'intéressant rapport sur les travaux publics et les chemins de fer américains a déjà plusieurs fois été l'objet de communications à la Société des Ingénieurs civils, a été chargé, en 1873, d'une nouvelle mission ayant cette fois pour but l'étude des chemins de fer anglais. Cette étude, montrant d'une façon très-nette l'ensemble des résultats obtenus par nos voisins d'outre-Manche en matière de chemin de fer, peut présenter en ce moment un intérêt d'autant plus grand que ces mêmes questions de chemins de fer ont occupé tout dernièrement l'Assemblée nationale. Ce rapport pourra également apporter de nouveaux éléments à la discussion à laquelle ont donné lieu quelques communications récemment faites à la Société des Ingénieurs civils sur le même sujet.

APERÇU GÉNÉRAL. — L'auteur commence par jeter un coup d'œil rapide sur l'ensemble des voies ferrées de la Grande-Bretagne dont le développement total était, en y comprenant les chemins de fer irlandais, de 24,745 kilomètres au 31 décembre 1870.

A cette époque le réseau des chemins de fer de la Grande-Bretagne était réparti entre 204 Compagnies anglaises, représentant une longueur de 17,691 kilomètres, et trente-cinq Compagnies écossaises ayant ensemble une longueur de 4,051 kilomètres.

Neuf Compagnies anglaises ont leur tête de ligne à Londres. La plus

riche de ces Compagnies, le *London and North-Westhern*, dont le capital est de 1,600 millions, ne transporte pas moins de 40 millions de tonnes de marchandises en une année, et fait plus de 200 millions de recettes par an.

Toutes ces Compagnies sont surtout remarquables par l'esprit commercial et pratique qui sert de base à leur administration; aussi ne retrouve-t-on pas en Angleterre les hardiesses de conceptions et d'exécution qui frappent tant dans les chemins de fer des États-Unis. Une seule Compagnie anglaise, celle du Middland, paraît plus entreprenante, et rappelle quelque peu par ses innovations continuelles les Compagnies américaines.

Constructions des voies ferrées.

Après avoir ainsi passé en revue les principales Compagnies qui exploitent les chemins de fer de la Grande-Bretagne, M. Malézieux étudie les principes qui servent de bases à la construction des voies ferrées de l'autre côté de la Manche.

En Angleterre, c'est à l'industrie privée qu'est exclusivement laissée l'initiative de la construction des chemins de fer; mais rien cependant ne peut se faire sans une autorisation spéciale du Parlement. Les demandes de concessions faites par les Compagnies sont soumises successivement aux deux Chambres, qui les examinent tant au point de vue de l'utilité publique et des terrains à exproprier, que des conditions financières de l'entreprise.

L'adhésion du Parlement confère aux concessionnaires, sous forme de loi, le droit d'expropriation pour les terrains à occuper, ainsi que le droit de percevoir des taxes et de requérir la force publique pour faire respecter les priviléges qui leur sont ainsi concédés.

Les Compagnies n'ont pas à soumettre, comme en France, à l'approbation de l'administration, les projets, plans, études, devis, etc., des travaux à exécuter. Le dossier soumis au Parlement à l'appui de la demande de concession ne se compose guère que d'un plan parcellaire à petite échelle et d'un profil en long. Les Compagnies sont laissées libres de tout construire à leur guise, et peuvent même s'écarter dans une certaine mesure des plans approuvés dans l'acte de concession. Mais par contre, une ligne ne peut être livrée à la circulation qu'après une réception très-minutieuse de l'État, représenté par un conseil spécial dit *Board of Trade*, dont les attributions se rapprochent de celles de notre contrôle administratif des chemins de fer.

Le *Board of Trade* a un droit de *véto* absolu, quant à la réception des travaux; aussi, afin d'éviter des mécomptes aux Compagnies, a-t-il formulé certaines règles ou conditions spéciales auxquelles les Compagnies

sont tenues de se conformer. Les clauses principales de cette sorte de cahier des charges sont, à très-peu de chose près, conformes aux conditions exigées par l'administration française pour la construction des voies ferrées. Dans la plupart des cas elles sont même bien plus rigoureuses.

Tracés, pentes et courbes. — Au sujet des tracés de chemins de fer, l'auteur constate que l'on est allé jusqu'à 8 millimètres de pente comme limite extrême sur les lignes à grande vitesse, et que l'on rencontre couramment des pentes de 10 et 15 millimètres sur les lignes ordinaires. Pour les courbes on tend à diminuer de plus en plus leur rayon, mais cela tient à la transformation des locomotives que beaucoup de Compagnies modifient suivant le type américain.

Rails. — En Angleterre le rail le plus en vigueur est le rail à double champignon, qui est surtout apprécié à cause de la grande facilité qu'il donne pour son remplacement sur les lignes très-fréquentées. Mais le plus souvent on le fait dissymétrique, car on ne songe pas à utiliser les deux champignons. Partout on substitue les rails en acier aux rails en fer, mais on ne cherche pas à profiter de la plus grande résistance de l'acier, en diminuant le poids des rails par mètre courant, qui est en moyenne de 40 kilogrammes. La voie a la même largeur qu'en France. — Après avoir été, dans le début, construits à voie unique, beaucoup de chemins de fer ont dû poser des secondes voies pour pouvoir soutenir avantageusement la concurrence de Compagnies rivales. Même sur certaines sections très-chargées, plusieurs Compagnies ont été obligées de tripler et parfois de quadrupler leurs voies.

Sur le chemin du London and North Westhern on a admis qu'une deuxième voie était nécessaire quand le trafic sur voie unique dépassait 40,000 fr. par kilomètre et par an.

Gares et stations. — Au point de vue des stations, M. Malézieux fait remarquer qu'après avoir été effrayé, en Angleterre comme en France, de voir les voies ferrées arriver jusqu'à l'intérieur des villes, le bon sens anglais a bientôt eu raison de ces objections spécieuses, et il est admis désormais qu'un chemin de fer est mal conçu et inachevé, quand il n'arrive pas au centre même des localités qu'il est appelé à desservir. Ce sont les chemins de fer qui vont chercher les voyageurs et non les voyageurs qui vont chercher les stations. Dans les bâtiments mêmes des gares importantes sont installés des hôtels des plus confortables, afin de supprimer au voyageur qui ne rentre pas à domicile l'intermédiaire toujours désagréable de l'omnibus ou du fiacre, sans compter le temps que cela fait gagner.

Tout le monde peut accéder sur les quais d'arrivée ou de départ, le

long desquels sont du reste ménagées des chaussées pour les voitures, de façon à faciliter autant que possible la manutention des bagages.

Dans les gares terminus, tous les services de départ et d'arrivée, qui sont très-simplifiés, se trouvent en général installés dans le bâtiment qui est à l'extrémité des voies, et non latéralement comme en France.

Matériel.

Voitures a voyageurs. — Comme voitures à voyageurs, les types sont analogues aux nôtres. Elles sont cependant plus élevées, un avis officiel du *Board of Trade* ayant recommandé de ne plus charger les bagages sur les voitures, ainsi que cela se pratiquait autrefois afin d'augmenter la capacité des compartiments. Une loi récente a même fixé l'espace et la surface vitrée minima exigibles par tête de voyageurs : $0^{mc},56$ comme volume et 3,75 décimètres carrés comme surface de vitres.

Les siéges doivent tous être à dossier et présenter au moins $0^{m},38$ de profondeur sur $0^{m},46$ de largeur moyenne.

Les bagages sont chargés maintenant soit dans un fourgon comme chez nous, soit dans un compartiment spécial attenant à chaque wagon.

Il y a une tendance générale à la voiture mixte, surtout sur les réseaux où il y a beaucoup d'embranchements, afin d'éviter autant que possible les changements de voitures.

Fourgons a bagages. — Les fourgons à bagages où se trouvent les chefs de trains sont pourvus d'une saillie supérieure vitrée qui règne sur toute la largeur du wagon, et dans ces derniers temps le *Board of Trade* a recommandé, sinon imposé, de mettre aux fourgons des saillies latérales vitrées qui permettent aux conducteurs de surveiller ce qui se passe sur les deux côtés du train en marche sans sortir du wagon.

Locomotives. — Pour la locomotive la seule remarque importante est l'emploi, sur toutes les lignes à tracé un peu sinueux, de l'avant-train américain ou *Bogie*, qui tend à se répandre de plus en plus.

Communications dans les trains en marche. — Depuis 1869, tout train de voyageurs parcourant plus de 20 milles sans s'arrêter doit être pourvu d'un système de communication facile des voyageurs avec les agents du train.

Le système qui, jusqu'ici, paraît avoir donné les meilleurs résultats, est une communication électrique analogue à celle qui fonctionne dans les trains de la ligne du Nord français. Seulement en Angleterre le

bouton d'appel est laissé libre au lieu d'être enfermé entre deux glaces.

FREINS. — Un certain nombre de système de freins nouveaux sont en expérimentation sur les chemins de fer anglais.

Le frein américain à air comprimé de Westinghouse est appliqué depuis quelque temps sur certaines lignes anglaises. Sur le Middland les résultats ont été très-satisfaisants, et son emploi tend à se généraliser sur tous les trains du Metropolitain-Railway. On sait que ce frein, manœuvré par le mécanicien, enraye toutes les roues du train à la fois.

Un autre frein employé sur le North-London est le frein électrique de Chapin, analogue au frein Achard, essayé en France en 1865; son plus grand inconvénient est que l'on ne peut ni modérer, ni graduer le serrage.

Il est également fait mention d'un frein hydraulique où l'eau joue le même rôle que l'air dans le frein à air comprimé.

On trouve sur quelques machines le frein à contre-vapeur, mais il ne sert qu'en cas de danger.

Exploitation.

DIVERS MODES D'EXPLOITATION. — Pour ce qui regarde le service de l'exploitation, M. Malézieux signale en premier lieu la multiplicité des accidents dont le nombre s'accroît tous les jours, et il passe en revue les divers modes d'exploitation en usage en Angleterre pour tâcher de diminuer le nombre des collisions.

Sur certaines lignes il ne peut y avoir qu'une machine en feu et par suite que des trains faisant la navette, d'où impossibilité de rencontre.

Sur d'autres sections on emploie le système, connu en France sous le nom de *Pilotage*.

Un autre système assez employé est celui qui porte le nom de *Staff-System*, d'après lequel un train ou une machine ne peut circuler qu'en étant porteur d'un bâton spécial, dit *Staff*, lequel fait la navette entre les stations extrêmes de la section à laquelle il est consacré. On a donné une certaine extension à ce système au moyen de billets ou tickets qui sont destinés à autoriser un certain nombre de trains à circuler en précédant le train porteur du staff. Les billets et le staff font la navette entre les deux extrémités de la ligne, mais toujours les uns à la suite des autres et dans le même ordre, le staff venant toujours le dernier, indiquant ainsi que la voie est désormais libre.

Enfin le système le plus répandu et le meilleur, du reste, est le Block-System, système d'isolement des trains, qui fonctionne depuis fort long-

temps déjà sur certaines sections très-fréquentées de nos chemins de fer français.

SIGNAUX ET AIGUILLES. — Pour compléter ce système, tous les signaux et aiguilles sont manœuvrés à distance par un seul aiguilleur, et des systèmes d'enclanchement empêchent toute fausse manœuvre de signaux ou d'aiguilles. — Ce mode de manœuvres est du reste imposé pour bifurcations par le Board of Trade, qui a même prévu le cas où un mécanicien venant d'une voie secondaire s'avancerait sur une voie principale malgré le signal d'arrêt. Il est exigé, en conséquence, qu'au point de rencontre de toute voie secondaire ou de garage avec une voie principale, soit installée une aiguille dont la manœuvre soit connexe de celle du signal d'arrêt, de telle façon que si celui-ci est fermé, tout train arrivant de la voie secondaire sans s'arrêter est dirigé inopinément par l'aiguille en question sur une voie d'évitement en cul-de-sac terminée par un heurtoir, et assez longue cependant pour que le mécanicien ait le temps de s'arrêter.

Ce n'est que grâce à cette précision mathématique des signaux, que des voies ferrées comme celle du Métropolitain peuvent être parcourues sans encombres par près de 1,000 trains par jour. Une seule station, celle de Moorgate street, voit entrer ou sortir jusqu'à trente-quatre trains en une heure, à certains moments de la journée.

Dans le rapport de M. Malézieux se trouvent indiqués quelques prix d'installation d'appareils d'isolement et d'enclanchement.

SERVICE DES VOYAGEURS. — Passant ensuite au service des voyageurs, l'auteur compare notre système compliqué, consistant à parquer les voyageurs dans des salles d'attente, et les ennuyeuses formalités de l'enregistrement des bagages, avec la méthode anglaise si simple, qui donne aux voyageurs ainsi qu'au public le libre accès des quais d'embarquement et de débarquement, et laisse à chaque individu le soin de s'occuper du chargement et du déchargement de ses bagages au départ comme à l'arrivée, du moment que le poids de ceux-ci ne dépasse pas sensiblement la limite de charge allouée à chaque voyageur.

Le collage sur chaque colis d'une étiquette portant le nom de la gare destinataire est la seule précaution à prendre. M. Malézieux voudrait voir les Compagnies françaises, non pas chercher à imiter à la lettre le système anglais, qui aurait peu de chances de réussir chez nous, mais se préoccuper un peu plus des facilités à donner aux voyageurs, au lieu de compliquer, presque comme à plaisir, les difficultés qui accompagnent toujours un départ à heure fixe.

COMPOSITION DES TRAINS EXPRESS. — Il y a déjà longtemps que sur la

plupart des grandes lignes anglaises, les voyageurs de deuxième classe étaient admis dans les trains express; depuis 1872 beaucoup de trains rapides contiennent également des voitures de troisième classe. Les Compagnies anglaises paraissent désormais s'attacher à aller chercher une augmentation de trafic dans la catégorie du public qui ne fréquente que la troisième classe, en lui offrant tous les avantages de rapidité sinon de confort des deux autres classes.

Tarifs des voyageurs. — Le prix kilométrique par tête diminue à mesure que la distance augmente. Ces prix par voyageur et par kilomètre varient de 0f,14 à 0f,17 pour la première classe, de 0f,10 à 0f,13 pour la deuxième classe, de 0f,04 à 0f,08 pour la troisième classe. Sur certaines lignes les prix sont plus élevés pour les trains express que pour les trains omnibus.

Une grande extension a été donnée aux billets d'aller et retour, dont la durée varie du reste avec la longueur du parcours.

En exécution d'une loi déjà ancienne (9 août 1844) toute Compagnie dont le tiers des recettes brutes provient des voyageurs est astreinte à faire circuler tous les jours, d'un bout à l'autre de son réseau, un train s'arrêtant à toutes les stations, et transportant des voyageurs de troisième classe à un prix qui ne dépasse pas 0f,065 par voyageur et par kilomètre. La vitesse de ce train doit être au minimum de 19 kilomètres à l'heure.

Gares a marchandises. — Par suite de la nécessité de placer les stations au centre même des villes, les gares à marchandises sont en général distinctes des gares à voyageurs, ou se trouvent établies dans le sous-sol de celles-ci, quand la voie ferrée est en remblai.

Dans ces gares à deux usages, aussi bien que dans les ports et grandes usines, ce qui a surtout frappé le rapporteur, c'est la multiplicité des emplois de la force hydraulique et de l'accumulation Armstrong, ainsi que des engins mécaniques de toute sorte appropriés à toutes les manutentions des marchandises et même des wagons. Ainsi des treuils verticaux placés sur les quais et entre les voies permettent de faire toutes les manœuvres possibles au moyen de cordes ou prolonges dont une des extrémités s'accroche aux wagons, pendant que la corde elle-même s'enroule autour du cabestan.

Ces mêmes treuils servent également à la manœuvre des chariots transbordeurs et des plaques tournantes. Le jeu d'une simple pédale suffit pour les mettre en mouvement. Par exemple le matériel doit se ressentir de cette économie de main-d'œuvre, car il en résulte beaucoup de brutalité dans les manœuvres.

Service des marchandises. — En Angleterre les Compagnies ne sont

tenues à rendre les marchandises à destination que dans un délai raisonnable, qui reste à interpréter dans chaque cas, mais elles n'abusent jamais de cette liberté assez large. Grâce aux engins de manutention dont disposent les gares, les marchandises sont presque toujours chargées et expédiées le jour même de la remise. Les trains de marchandises sont en général peu chargés, et marchent à la vitesse des trains de voyageurs. Avec un pareil système, afin de ne pas manquer de matériel, il faut que les marchandises soient enlevées à destination, avec une très-grande célérité. Les gares anglaises ne servent pas comme les nôtres d'espèce d'entrepôts; mais des docks établis dans le voisinage de presque toutes les stations viennent remédier en partie à ce que ce mode d'opérer a de défectueux; néanmoins M. Malézieux ne croit pas que le commerce français soit disposé à trouver dans la rapidité du transport une compensation à l'impossibilité d'utiliser comme magasins les halles des gares à marchandises.

On trouve dans le rapport de M. Malézieux quelques renseignements statistiques sur la quantité de matériel employé sur les chemins de fer anglais.

Tarifs. — Les tarifs maxima imposés aux Compagnies par leur acte spécial de concession ne sont pas les mêmes pour tous les réseaux. Ces prix, qui sont du reste excessifs, ne sont jamais appliqués. Suivant les circonstances qui peuvent modifier le prix de revient du transport, comme la distance, la nature de la marchandise, etc., mais surtout suivant la concurrence, les tarifs sont plus ou moins modifiés. Il y a les prix ordinaires et les prix spéciaux. Le rapport contient quelques exemples de prix et de classification de marchandises. Mais ces prix sont très-variables d'une Compagnie à une autre.

Pour les marchandises lourdes, comme la houille, le fer, les engrais, etc., les prix sont à peu près les mêmes qu'en France, mais pour le cas seulement où ces transports ont lieu pour de grandes distances; pour les petits parcours, et pour toutes les autres marchandises, les tarifs anglais sont beaucoup plus élevés que ceux en usage sur nos chemins de fer français.

En général, les prix entre deux stations desservies par plusieurs voies ferrées sont les mêmes, quel que soit le réseau que l'on emprunte, quoique la distance parcourue soit souvent fort différente.

Les prix de transport ne sont jamais publiés et les frais accessoires arbitrairement taxés. On négocie, on discute chaque transport séparément, sans se préoccuper de ce qui se fait sur un autre point. Dans de pareilles conditions il est bien difficile de donner une idée quelque peu exacte des prix généraux appliqués sur les chemins de fer anglais. Pour les transports de la houille seule, on trouve des tarifs variant de $0^f,03$ à $0^f,25$ par tonne et par kilomètre.

Concurrence des voies ferrées entre elles.

M. Malézieux en arrive à la question si importante de la concurrence en matière de chemin de fer.

Il compare les quatre systèmes en présence :

Le système américain, de liberté absolue en tout;

Le système anglais, de réglementation dans la construction et les dispositions générales de l'entreprise, mais avec liberté entière pour l'exploitation ;

Le système français, de réglementation en tout;

Le système prussien ou belge, d'après lequel l'État construit et exploite lui-même les chemins de fer.

En Amérique, depuis 1870, les abus excessifs des Compagnies de chemins de fer, qui rançonnaient littéralement le public, ont donné lieu à de telles réclamations, que dans un des États les plus importants de l'Union, les Compagnies viennent d'être soumises à une législation spéciale par laquelle on paraît devoir leur imposer des tarifs maxima raisonnables, et en tout cas les contraindre à l'égalité de traitement pour tout le monde.

En Angleterre, où, comme on l'a vu, la tarification est libre ainsi que la concurrence, les lignes se sont juxtaposées dans certaines localités, en disproportion des besoins à desservir. Dans les premiers temps les résultats ont été parfaits. Mais bientôt fatiguées de la lutte, les Compagnies se sont entendues au détriment du public, et ont relevé simultanément leurs tarifs. Plusieurs même ont fait bourse commune et se sont pour ainsi dire fusionnées.

Lorsque dans le principe un chemin de fer et un canal se sont trouvés parallèles, parfois la concurrence a subsisté, mais c'est exceptionnel ; le plus souvent il y a eu entente entre la Compagnie du canal et celle du chemin de fer, ou bien cette dernière a acheté le canal et n'y entretient plus alors de circulation.

Mais depuis quelques années le Parlement refuse d'autoriser ainsi les fusions de Compagnies entre elles. Répondant même au vœu général du public en matière de transports par voies ferrées, il a par une loi récente (21 juillet 1873) forcé les Compagnies à se fournir entre elles toutes les facilités possibles pour le transit des marchandises, à publier leurs tarifs et à entretenir en bon état les voies navigables dont elles sont devenues propriétaires, à se conformer enfin à l'égalité de traitement pour tous leurs clients. Cette loi crée de plus une juridiction spéciale, à laquelle doivent être soumises toutes les difficultés qui peuvent survenir dans l'exploitation des voies ferrées. Ce tribunal se compose de trois

membres titulaires et de deux adjoints. Les Compagnies chercheront évidemment à se soustraire autant que possible à cette sévère juridiction, mais il en résultera néanmoins de grands avantages pour le public.

M. Malézieux en conclut qu'en France nous n'avons par conséquent qu'à nous louer du système de réglementation imposé par l'administration supérieure aux Compagnies de chemins de fer.

Rachat des chemins de fer par l'État.

Un chapitre tout spécial est consacré à la question de l'éventualité possible du rachat des chemins de fer anglais par l'État.

Tout en reconnaissant que cette hypothèse est en contradiction formelle avec les habitudes britanniques en fait de gouvernement, qui sont basées sur le principe de la plus grande liberté possible et de la non-intervention de l'État dans les questions qui touchent au commerce et à l'industrie, M. Malézieux constate que voilà néanmoins plusieurs fois que le gouvernement anglais s'est écarté de ce principe d'économie politique, soit dans le rachat de la Compagnie des Indes et dans la question des phares, soit enfin en rachetant et en exploitant lui-même depuis 1869 toutes les lignes télégraphiques de l'Angleterre, dont la création et l'exploitation avaient été jusque-là abandonnées à l'industrie privée. Il en conclut qu'il n'y aurait donc rien d'impossible à ce que, dans un avenir plus ou moins éloigné, le gouvernement anglais, sous la pression de l'opinion publique, se décidât à concentrer dans ses mains tout le réseau des voies ferrées de la Grande-Bretagne, afin de mettre un terme aux exigences des Compagnies et aux abus qui sont la conséquence de la liberté d'exploitation accordée dans le principe aux entreprises privées.

Point de vue financier et résultat statistique.

Le rapport se termine par l'étude des chemins de fer anglais au point de vue financier et par des résultats statistiques généraux sur l'exploitation, ainsi que sur la rémunération des capitaux engagés.

Le capital-actions se décompose en *actions ordinaires* et en *actions de préférence* à intérêt limité. De ces dernières actions, les unes ne donnent lieu qu'à un intérêt prélevé sur le bénéfice net de chaque année, s'il y en a un. Les autres ont au contraire un effet rétroactif ; les intérêts en retard se cumulent et doivent être payés intégralement avant qu'aucun dividende puisse être versé aux actionnaires proprement dits.

Le capital-emprunt se compose de deux sortes de fonds. Outre les *obligations* qui sont perpétuelles comme les concessions, il y a une dette

flottante formée d'emprunts à terme qui sont ou des *bons hypothécaires* ou des *bons ordinaires*, les uns et les autres primant les obligations.

Le capital-emprunt est en général limité au tiers du capital-actions. Entre les actions et les capitaux d'emprunt il y a les *fonds garantis*. Ce sont des rentes perpétuelles servies, soit à des actionnaires d'autres chemins de fer ou de canaux que l'on a désintéressés, soit à des propriétaires de terrains acquis.

En cas de retard de payement, les obligataires peuvent exiger la vente du chemin de fer. Seulement, comme en France, les chemins de fer anglais sont, en tant que propriétés ou matériel servant à l'exploitation, rendus insaisissables, du jour où le chemin de fer est livré à la circulation. Le chemin de fer est donc un tout indivisible, qu'il faut vendre sans le dénaturer, ni en arrêter l'exploitation. De là une grande difficulté pratique si les créanciers ne trouvent pas d'acquéreurs, ou si le Parlement refuse son consentement à la cession.

En Amérique, où les chemins de fer sont des entreprises purement privées, les créanciers peuvent au contraire faire procéder séparément à la vente des terrains, du matériel et autres propriétés du chemin de fer.

Résultats statistiques de l'exploitation. — Comme renseignements statistiques, les résultats de l'exploitation sont très-variables d'une Compagnie à l'autre; on ne peut donc avoir que des moyennes plus ou moins exactes.

Pour l'année 1872, on trouve comme moyenne de dépenses d'exploitation par kilomètre de chemin 25,344 francs et 2f,10 comme dépense moyenne par kilomètre de train.

Pendant cette même année la recette moyenne par kilomètre de chemin a été de 50,396 francs et de 4f,20 par kilomètre de train.

L'exploitation des chemins anglais se fait donc en moyenne à 50 p. 100 des recettes.

Le rapport des recettes de voyageurs à celles provenant des marchandises a été en 1872 comme 44 est à 56.

Rémunération des capitaux. — Au point de vue de la rémunération des capitaux, on trouve pour l'année 1872 que le produit net, soit, comme on l'a vu, environ 50 pour 100 de recettes, est les $\frac{475}{10000}$ de la dépense première de construction. Le revenu moyen de capitaux engagés est donc de 4,75 pour 100; ce qui donne, déduction faite des actions de préférence, obligations, fonds garantis, etc., un revenu moyen de 5,14 pour 100 aux actions ordinaires.

Ces revenus varient essentiellement d'une Compagnie à l'autre; certaines Compagnies n'ont rien donné, d'autres ont donné jusqu'à 12 et 12,5 pour 100.

L'intérêt moyen des capitaux additionnels a été de 4,39 pour 100. L'intérêt des obligations est du reste généralement compris entre 4 et 5 pour 100.

En comparant les quatre années 1858, 1870, 1871, 1872, on constate que le revenu moyen du capital total va en croissant d'année en année, bien que celui des capitaux additionnels aille en diminuant.

Pour terminer M. Malézieux compare les résultats généraux de l'exploitation des chemins de fer en Angleterre et aux États-Unis. Il trouve pour l'année 1872 qu'en Amérique le rapport des recettes de voyageurs à celles des marchandises est de 28 à 72, et que les dépenses d'exploitation ont été de 65 pour 100 des recettes, au lieu de 50 pour 100 comme en Angleterre. Pour les chemins américains, le produit net n'a donc été que de 35 pour 100 des recettes, et cependant le revenu moyen des capitaux engagés a été de 5,20 pour 100, tandis que pour la même période il n'était que de 4,75 pour 100 en Angleterre.

Cela tient à la différence du prix de la construction, qui en Amérique n'est en moyenne que de 172,000 francs par kilomètre, au lieu de 559,000 francs comme en Angleterre.

En Amérique l'emprunt a formé 48 pour 100 du capital total, et en Angleterre 38 pour 100.

Aux États-Unis le revenu moyen des obligations est de 6,70 pour 100, tandis que celui des actions n'est que 3,91 pour 100. Cette différence tient à ce qu'en Amérique, la plus-value donnée par la création des chemins de fer aux terrains, usines et industries, fait que les capitalistes trouvent dans cette plus-value une large compensation à la rémunération si exiguë de leurs capitaux. C'est là ce qui explique le développement prodigieux des voies ferrées américaines.

A la suite du rapport que nous venons d'analyser, se trouve un appendice contenant des extraits des principaux textes de lois anglaises en matière de chemins de fer, d'après lesquels on peut se rendre plus facilement compte de l'esprit même de cette législation spéciale.

ANALYSE DE L'ALBUM

DU

COURS DE MÉTALLURGIE

PROFESSÉ

à l'École Centrale des Arts et Manufactures, par M. S. Jordan

PAR M. CORNUAULT.

L'importante publication métallurgique qu'a fait paraître notre collègue et ancien président M. Jordan est déjà connue de la plupart d'entre nous; nous avons accepté cependant la tâche d'en faire un rapide compte-rendu, persuadés que nous sommes qu'il sera intéressant pour ceux de nos collègues qui ne font pas de la métallurgie leur étude exclusive, de connaître tout au moins le résumé de ce travail essentiellement pratique, que tout ingénieur consultera avec fruit, à l'occasion de projets ayant trait à l'art du métallurgiste.

Ce n'est pas ici le professeur qui a entendu publier un cours doctrinal de métallurgie; c'est l'ingénieur d'usines qui, sous le titre modeste d'album du cours professé à l'École centrale, a généreusement constitué à ses collègues un portefeuille tel que ne sauraient en posséder nos chefs d'usine, dont la plupart, retenus à leur poste par le fardeau de la direction, ne peuvent le plus souvent entreprendre ces voyages d'étude, si fructueux cependant, qui ont précisément permis à l'auteur, s'autorisant de son nom bien connu, de puiser aux sources mêmes de précieux renseignements.

L'ouvrage, comprenant 140 planches in-folio et un volume de texte avec données numériques et indications sur le fonctionnement des appareils, est divisé en quatre parties que nous analyserons successivement :

1° Combustibles employés dans la métallurgie ;
2° Fabrication de la fonte ;
3° Fabrication du fer ;
4° Fabrication de l'acier.

I

Combustibles employés dans la Métallurgie.

Dans cette partie, passant en revue les différents systèmes de fours à coke fonctionnant dans les usines tenues au courant des progrès de l'industrie, l'auteur donne les dessins complets des fours suivants :

Fours horizontaux : Four à coke et à gaz Pauwels et Dubochet.
— Four à coke Talabot.
— Four à coke Smet.
— Four à coke Smet modifié par M. Buttgenbach.
— Four à coke système Coppée.
Fours verticaux : Four Appolt.

Le four Pauwels et Dubochet réalise le problème de l'obtention d'un coke métallurgique dans la distillation de la houille pour la production du gaz d'éclairage.

La modification de M. Buttgenbach aux fours belges bien connus porte sur le mode de circulation des gaz contre les parois de la chambre de carbonisation ; des briques de formes particulières assurent la bonne marche des gaz. L'examen des dessins indique une construction très-soignée dans ses détails.

Le système de M. Coppée s'applique particulièrement à la carbonisation des houilles maigres ; là, comme dans le four Appolt, le prisme de houille est long et de faible épaisseur. Ce four se prête bien à l'utilisation des gaz évacués pour le chauffage des chaudières à vapeur.

D'intéressants détails sont également donnés sur les repousseurs mécaniques usités pour le défournement du coke dans les fours horizontaux.

II

Fabrication de la Fonte.

Cette importante partie est traitée avec toute l'étendue qu'elle comporte, et un texte précis, plein de chiffres instructifs, répond aux 40 planches qui donnent les détails de construction des hauts fourneaux pro-

prement dits et de leurs nombreux accessoires : machines soufflantes, appareils à air chaud, monte-charges, etc.

Nous trouvons d'abord la revue des meilleurs types récents de hauts fourneaux français ou étrangers dont l'étude est susceptible de guider l'ingénieur chargé de la construction de l'un d'eux.

Du haut fourneau à tour pyramidale carrée, système lourd et coûteux, permettant difficilement les réparations, occupant un grand espace pour une production relativement restreinte de fonte, l'auteur nous fait passer au haut fourneau à tour ronde; puis au fourneau sur simple colonnade en fonte, double colonnade, cadres colonnes. Dans ces deux derniers systèmes de construction, la base en maçonnerie de la tour se trouve supprimée et remplacée par des colonnes qui, facilitant le travail des fondeurs, leur permettent de surveiller l'ouvrage et le creuset rendus accessibles sur tout leur pourtour et d'en effectuer plus aisément les réparations.

Le type de construction anglais, dont il est donné un exemple, présente aussi ces avantages de dégagement de creuset; une enveloppe extérieure en tôle entoure complétement la cuve. Ce modèle s'est également répandu en Allemagne dans ces dernières années; on lui préfère en France le système Buttgenbach, imaginé par l'ingénieur de ce nom, directeur de l'usine de Neuss. Dans ce système, l'enveloppe de briques rouges entourant la chemise réfractaire est supprimée. Cette chemise est assise soit sur une base en maçonnerie, soit sur des cadres colonnes, comme à Anzin ou à Saint-Louis. Ce mode de construction donne de bons résultats : la visite de toutes les parties du fourneau et leur réparation sont rendues relativement faciles; aussi nombre d'usines, parmi lesquelles nous citerons celles d'Anzin, Saint-Louis, Givors, etc., l'ont-elles récemment adopté.

L'auteur donne enfin le dessin d'un fourneau à poitrine fermée, du blauofen des Allemands, dans lequel l'avant-creuset est supprimé : le creuset présente un trou de coulée et deux tuyères à laitier; celles-ci (tuyères Lürmann) sont le plus habituellement en fonte, avec serpentin en fer à circulation d'eau.

Les hauts fourneaux à poitrine fermée se sont répandus en Allemagne, en Angleterre et dans quelques usines françaises. Ils paraissent tous les jours gagner du terrain.

Appareils de chargement et de prise de gaz. — Nous trouvons d'abord l'appareil Coingt et l'appareil Langen; ces appareils possèdent tous deux la prise de gaz centrale et permettent d'obtenir une répartition convenable du coke et du minerai. Le simple système, dit *Cup and Cone*, usité dans nombre d'usines, a reçu il y a peu d'années une heureuse modification de la part d'un ingénieur westphalien, M. de Hoff, modification qui permet de conserver les avantages du cône tout en maintenant la prise de gaz au centre. L'appareil de

Hoff est représenté tel qu'il fonctionne à l'usine de Saint-Louis. Le cône est terminé à son sommet par un tuyau muni d'une longue garde hydraulique dans laquelle vient s'emboîter le tuyau fixe de conduite des gaz.

La disposition due à M. Chaddefaud, directeur des usines de Denain, est aussi représentée. C'est encore une modification du *Cup and Cone*. Le cône ici est fixe et entouré d'un distributeur tronc-cônique qui, abaissé à la suite du cône, permet à la charge en minerais d'être répartie surtout sur les bords.

Chaudières à vapeur. — Nous remarquons, parmi les types de chaudières représentés, la chaudière Henschel, système employé dans plusieurs installations récentes de la Prusse rhénane, et composé de deux longs tubes bouilleurs inclinés communiquant à leur partie supérieure avec un corps cylindrique servant de réservoir à vapeur.

Machines soufflantes. — L'auteur donne des exemples des principaux types que l'on rencontre dans les usines modernes :

Machine à balancier;
Machine verticale à action directe;
Machine horizontale à action directe à clapets;
Machine horizontale à tiroirs.

La machine à balancier figurée est du système horse-head, très-répandu en Angleterre. Dans ce système, l'extrémité du balancier est coudée, et il est possible d'avoir une longue bielle sans abaisser outre mesure l'arbre du volant; on trouve ce type à Alais, Saint-Louis, Givors, etc.

La machine verticale à action directe est celle qui fonctionne au Creusot. Le type de Seraing, bien connu et que l'on rencontre dans beaucoup d'usines de Belgique et de l'est de la France, n'a pas été donné; mais on en trouve des dessins dans l'album spécial de la Société John Cockerill; nous ajouterons que depuis plusieurs années cette Société construit ses machines dans le système Woolf.

La machine soufflante horizontale à clapets est celle construite par M. Farcot; tous les ingénieurs d'usines estiment la construction soignée des souffleries livrées par cette maison, aussi ce type a-t-il été préféré, malgré le grand espace qu'il occupe en longueur, dans des usines récentes, parmi lesquelles nous citerons : Cyarnaval, Longwy, Redon.

La machine à tiroirs, système Thomas et Laurens, et la soufflerie Bessemer, du Creusot, terminent la liste des soufflantes étudiées; le texte fournit des données numériques fort complètes se rapportant à toutes ces machines.

Appareils à air chaud. — Après avoir décrit les appareils à air chaud en fonte, que seuls on trouvait dans les usines il y a quelques années (appareils Wasseralfingen, Thomas et Laurens, Calder, à pistolets), l'au-

teur aborde la description des appareils en briques réfractaires Cowper et Vhitwell, permettant d'atteindre 700° et au delà, tandis que la température de 400 à 500° au maximum était celle obtenue avec les appareils en fonte. Les appareils Cowper et Vhitwell sont tous deux fondés sur le principe de la chaleur régénérée, et fonctionnent dès lors par paires; la plupart des installations récentes ont adopté ces appareils malgré le coût élevé de leur construction, l'économie de coke réalisée permettant rapidement d'amortir la différence de coût d'établissement.

Monte-charges. — Quatre exemples de monte-charges occupent les planches suivantes de l'ouvrage, ce sont :

1° Un monte-charges à vapeur à double effet, employé à l'usine de Saint-Louis pour racheter une différence de niveau de 4 mètres; ce système, qui fonctionnait également il y a peu d'années à l'usine de Pont-à-Mousson, présente l'inconvénient d'exiger des conduites de vapeur d'un grand développement.

2° Un monte-charges pneumatique à cloche, appareil peu répandu bien qu'il possède des avantages incontestables au point de vue de la simplicité de la manœuvre; le foncement indispensable d'un puits profond rend sa construction difficile et coûteuse; le monte-charges représenté fonctionne au Creusot pour élever les charges de 6 mètres de hauteur seulement.

3° Un monte-charges hydraulique à action directe. L'élégante disposition adoptée au Creusot est ici figurée. L'eau sous pression agit directement sur un piston plongeur qu'elle soulève avec la charge placée sur le plateau.

Plusieurs autres systèmes de monte-charges empruntent également comme fluide moteur l'eau sous pression : ce sont les systèmes Armstrong, celui de M. Wrightson, usité avec quelques modifications à la belle usine de Montluçon-Ville, dirigée par M. Forey.

Les plans d'ensemble de deux grandes usines : l'une française, celle de Mazières; l'autre anglaise, celle de Newport, complètent la seconde partie de l'ouvrage, consacrée à la métallurgie de la fonte, et l'auteur aborde la troisième partie : la fabrication du fer.

III

Fabrication du Fer malléable.

Les deux premiers chapitres concernent la forge catalane et le feu comtois; pour la première fois, si nous ne nous trompons, un dessin complet d'un feu comtois est publié; celui représenté fonctionne aux usines d'Audincourt.

Nous arrivons aux fours à puddler : les divers systèmes usités diffèrent, comme on sait, surtout par le mode de rafraîchissement employé pour les autels et le pourtour de la cuvette. Le premier exemple cité est celui d'un four à puddler à courant d'air. La sole porte le courant d'air, et elle est elle-même supportée par des consoles en fonte fixées aux plaques d'armature du four. Deux autels curvilignes forment les courants d'air latéraux. Les planches relatives à ce four donnent les détails les plus complets de son exécution.

Dans les planches suivantes, nous trouvons les dessins d'un four à puddler à une sole et à courants d'air fonctionnant dans les usines du South Staffordshire, puis d'un four à puddler à courants d'air et d'eau, modèle actuel du Creusot. La circulation d'eau a lieu dans les autels et dans les parois antérieures de la cuvette; la circulation d'air dans la paroi postérieure curviligne. Ce four est remarquable par la facilité qu'il présente pour réparer ou changer les diverses pièces qui le composent.

Nous trouvons enfin, comme quatrième mode décrit, un type de four à puddler à circulation d'eau autour de la sole, type emprunté à une usine du Nord de la France.

L'auteur aborde alors la revue des fours à puddler mécaniques :

Le four rotatif Danks, dont il a été tant parlé dans ces dernières années, le four Pernot, son rival français; on pourrait à l'heure présente ajouter le four Crampton non encore sanctionné, il est vrai, par une pratique suffisante, mais dont les essais permettent de croire à la réalisation de sérieux progrès dans le problème depuis longtemps cherché de la suppression du pénible travail du puddleur, en même temps que dans la diminution de consommation de combustible.

Des modèles d'appareils de cinglage et de trains de puddlage français et anglais terminent le chapitre de la fabrication des fers bruts.

Fabrication des fers finis. — Les fours à réchauffer fonctionnant dans les usines de la Société du Phénix en Westphalie, dans celle de Cyfarthfa et de Dowlais occupent les premières planches de ce chapitre, puis viennent les fours à réchauffer et à souder chauffés par le système Siemens.

Les gazogènes Siemens pour charbons gras et pour charbons maigres sont décrits avec tous les détails d'exécution.

L'emploi du système Siemens pour le chauffage des fours à réchauffer est très-répandu maintenant. Les grandes usines anglaises Barrow, Ebw Vale, West Cumberland, etc., l'ont adopté depuis plusieurs années; en France les usines de M. de Wendel l'ont des premières, croyons-nous, mis en pratique.

Le système Siemens ne se prête pas aussi bien au chauffage des fours à puddler; après des essais repétés faits en Angleterre et en France, son emploi ne s'est pas propagé.

Marteaux pilons. — L'étude des marteaux pilons suit celle des fours à réchauffer; le marteau pilon système Dethombay, le marteau à simple effet, type du Creusot, et celui automatique à double effet construit par MM. Revollier Bietrix sont successivement représentés.

Laminoirs. — Trois types de trains marchands sont figurés : le premier fonctionnant dans une usine française, le second dans une usine belge, le troisième à l'usine anglaise de Dowlais.

L'auteur cite, d'après Truran, l'intéressante évaluation des forces motrices nécessaires pour actionner les trains de l'usine de Dowlais.

Les cinq planches suivantes sont consacrées à la représentation d'un train trio pour rails et poutrelles, fonctionnant aux forges d'Anzin; ce train très-soigné dans toutes ses parties fournit un excellent exemple d'installation perfectionnée de laminoirs.

Vient ensuite la revue des nombreux accessoires des trains de laminoirs : des releveurs unilatéraux, bilatéraux, à tablier, puis successivement de tous les détails des laminoirs eux-mêmes.

L'ingénieur chargé d'étudier un projet de laminoirs s'aidera avec grand fruit d'un travail aussi complet.

Nous trouvons en continuant à feuilleter l'album de M. Jordan le laminoir universel combiné par l'ingénieur autrichien Wagner; ce système de laminoir permet, comme on sait, au moyen de deux cylindres à axes verticaux, d'obtenir la variation des largeurs de cannelures aussi bien que celle des épaisseurs.

Un train de laminoirs à guide et un train de fenderie anglaise terminent la série des laminoirs étudiés.

Les barres sortant des cylindres finisseurs du train marchand sont portées aux cisailles ou à la scie circulaire; parmi celles figurées dans l'ouvrage, nous remarquons l'élégante disposition de M. Bonehill de Maubeuge; l'appareil porte lui-même son moteur; il occupe en plan un espace restreint, et n'exige que des fondations fort simples.

Fabrication des tôles. — Le laminage pour tôle se fait le plus souvent en une seule chaude, cependant, pour les feuilles de grandes dimensions et de faible épaisseur, il est nécessaire de donner une seconde chaude; on emploie alors des fours spéciaux, dormants ou à sole, dont on se sert

également pour recuire les feuilles très-minces. Un de ces fours est représenté.

L'auteur donne aussi le dessin d'un four de tôlerie à double sole existant dans une usine de Moravie.

Nous remarquons dans les planches suivantes le gros train avec tablier releveur fonctionnant au Creusot, l'un des plus puissants et des mieux combinés construits jusqu'à ce jour.

Après la description du train de tôlerie, système Borsig, l'auteur indique les divers systèmes adoptés dans diverses grandes usines pour éviter l'obligation de faire passer après chaque laminage la feuille de tôle par dessus le cylindre supérieur. Il est également fait mention du système Louth (ou Lauth) de Pittsbourg pour équipages trijumeaux. Ce système s'est répandu en Europe, et il en a été fort parlé dans ces dernières années.

Le dernier train représenté est un train universel alternatif pour blindages. Ce train ne se distingue de ceux dont nous avons parlé que par leur puissance; on remarquera cependant l'ingénieuse disposition adoptée pour obtenir le mouvement alternatif.

Ainsi qu'il l'avait fait pour la deuxième partie relative à la fabrication de la fonte, l'auteur termine le chapitre de la fabrication du fer en donnant les dispositions générales de plusieurs grandes usines : la forge de la Vieille-Sambre, en Belgique; celle du Phénix, en Westphalie; celle du Creusot, enfin. La magnifique installation de la nouvelle forge du Creusot est donnée dans tous ses détails; planches et texte sont suffisants pour que l'ingénieur puisse faire de ces documents une fructueuse étude.

IV

Fabrication de l'Acier.

Le premier chapitre est consacré à la fabrication de l'*acier Bessemer*.

L'auteur a pris pour exemple une installation anglaise dans laquelle les fours de fusion se trouvent sur une terrasse supérieure. La disposition anglaise a été adoptée sur le continent sans changement important; ce n'est qu'aux États-Unis qu'elle a subi des modifications que l'on pourra examiner avec intérêt dans un mémoire de M. Jordan inséré dans ce même bulletin il y a deux ans.

Les planches qui suivent fournissent les détails d'un convertisseur de 5 tonnes : ce sont ceux de cette dimension qui sont le plus généralement adoptés, on en trouve cependant jusqu'à 9 et 10 tonnes.

Puis viennent les nombreux accessoires du système Bessemer et la

représentation de la machinerie compliquée qu'il exige pour la manœuvre des poches, grues de coulée, etc.

Four Martin-Siemens. — Ce four est devenu le complément presque indispensable d'une aciérie Bessemer, parce qu'il permet l'utilisation des riblons et divers rebuts d'une grande usine. La fabrication de l'acier fondu sur sole qu'il permet de réaliser n'est entrée dans la pratique qu'après l'invention du système Siemens. Le four que donne l'album de M. Jordan est celui même que MM. Émile et Pierre Martin ont installé à leur usine de Sireuil, et qui a été adopté depuis par plusieurs usines fabriquant l'acier par leur procédé; il est disposé pour recevoir des charges de trois tonnes. On remarquera la disposition des régénérateurs disposés en long sous la sole du four. Cette disposition laisse complétement libres les deux longues faces du four où se font d'un côté le chargement, et de l'autre la coulée.

Le four de cémentation adopté par les usines de Sheffield, l'exemple d'un four à creuset chauffé par le système Siemens, le dessin du grand four de corroyage en fonctionnement dans l'usine d'Allevard; un type, enfin, du martinet-pilon pour corroyage de l'acier, terminent la nombreuse série de planches de l'ouvrage.

Ainsi que le dit en commençant l'auteur lui-même, il n'existait plus dans la librairie d'ouvrage représentant le matériel actuellement en usage dans les usines à fonte, à fer et à acier. Cette lacune est maintenant comblée et les ingénieurs d'usines, comme les élèves des écoles techniques, ne manqueront pas d'en savoir gré à l'éminent professeur.

TABLE DES MATIÈRES

Paris. — Imp. VIÉVILLE et CAPIOMONT, rue des Poitevins, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

TABLEAU GÉNÉRAL ET DESCRIPTION

DES

MINES MÉTALLIQUES

ET DES

COMBUSTIBLES MINÉRAUX

DE LA FRANCE

Paris. — Imprimerie VIÉVILLE et CAPIOMONT, 6, rue des Poitevins.

TABLEAU GÉNÉRAL ET DESCRIPTION

DES

MINES MÉTALLIQUES

ET DES

COMBUSTIBLES MINÉRAUX

DE LA FRANCE

PAR

M. ALFRED CAILLAUX

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES, MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS
ET DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE, ETC., ETC.

EXTRAIT des Mémoires de la Société des Ingénieurs civils

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE
DE J. BAUDRY, ÉDITEUR
RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

1875

TABLE DES MATIÈRES

Description des mines métalliques autres que le fer.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

AVANT-PROPOS

Les mines de la France ont été décrites, d'une manière plus ou moins complète, à diverses époques.

Dans les siècles derniers, les combustibles n'étaient connus ou utilisés que sur quelques points; on ne les considérait pas comme des mines, et les descriptions que l'on faisait alors ne concernaient que les mines de plomb, cuivre, argent, etc.

Dans le courant du seizième siècle, un savant, aussi éminent par ses connaissances littéraires que par celles qu'il possédait dans les sciences et dans l'art des mines, AGRICOLA[1] donnait un historique des mines anciennes et nouvelles que l'on connaissait alors, et en 1579 GARRAULT, maître général des monnaies sous Henri III, parlait des mines d'argent de la France.

Dans le dix-septième siècle, MALUS, maître des monnaies de Bordeaux, décrivait quelques-unes des mines des Pyrénées; deux savants étrangers, le baron et la baronne DE BEAUSOLEIL, parcouraient la France pour y reconnaître les principaux gisements métallifères et publiaient le résultat de leurs recherches[2].

Plus tard, HELLOT[3], membre de l'Académie des sciences, etc., résumait, en 1750, ce que l'on savait alors au sujet de l'énumération des mines.

Vers 1740, DE GENSSANE décrivait les mines des Vosges, et, en 1774, celles du Languedoc[4].

La plupart de tous ces écrits, ainsi que ceux de plusieurs autres savants métallurgistes ou mineurs, tels que HAUTIN DE VILLARS, JEAN

1. *Della generatione delle cose....*, traduction de Venise. 1550.
2. Restitution de Pluton. 1630.
3. *De la fonte des mines*, traduction de Schlutter. 1750.
4. *Histoire naturelle du Languedoc.* — *De la fonte des*

Astruc, etc., furent réunis dans un ouvrage que publia Gobet, sous le titre : *Les Anciens Minéralogistes de France.*

Vers 1787, Dietrich[1] faisait la description très-détaillée des mines des Vosges et de celles des Pyrénées.

Jars[2], Monnet[3], Duhamel, Mallet, publiaient leurs impressions sur un grand nombre de mines dans des ouvrages spéciaux ou dans le *Journal des Mines* que l'administration venait de fonder, en l'an III, avec le concours des ingénieurs Coquebert de Montbret, Lelivec, Héricart de Thury, etc.

En octobre 1826, M. Becquey, alors directeur général des ponts et chaussées et des mines, fit publier un état[4] des mines abandonnées.

Après 1830, en 1836 et 1846, l'administration des mines publiait, dans les *Comptes rendus des travaux des ingénieurs de l'Etat*, de nombreux détails sur les mines de houille, de fer et métalliques de la France, abandonnées ou en activité. Ces travaux, très-remarquables, ne portent aucune signature, mais les renseignements recueillis nous portent à croire qu'ils sont particulièrement dus à la plume de MM. les ingénieurs Leplay et Thyrria.

Plus tard, des monographies importantes, ou des descriptions générales, ont été données dans les *Annales des Mines* ou dans des ouvrages spéciaux : pour la houille, par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, dans le texte de la carte géologique de la France; par M. Burat[5], dans ses divers ouvrages et par plusieurs ingénieurs; pour les autres mines, par MM. Pernolet[6], Gruner[7], Lan[8], Rivot[9], Mallart[10], Lory[11], de Mortillet[12], Mussy[13], Boisse[14], etc., et, à l'occasion de l'Exposition de 1867, M. Daubrée a publié un résumé général relatif aux mines de la France[15], dans un ensemble exposant les produits minéraux de la plupart des nations du globe.

1. *Description des gîtes de minerai et bouches à feu de la France.* 1787.
2. *Voyages métallurgiques.*
3. *État des mines de la France. — Atlas minéralogique.*
4. Moniteur d'octobre 1826.
5. *La houille. — Les houillères de la France. — Géologie de la France*, etc.
6. *Annales des Mines*, Mines de Poullaouen.
7. *Description géologique de la Loire.*
8. *Annales des Mines.* Lozère.
9. *Annales des Mines.* Lozère et Aveyron.
10. *Annales des Mines.* Creuse.
11. *Géologie de l'Isère. — Du Dauphiné*
12. *Géologie de la Savoie.*
13. *Géologie de l'Ariége.*
14. *Géologie de l'Aveyron.*
15. Rapport du Jury.

Ce sont ces écrits divers qui forment la base de notre travail.

Nous avons cherché à nous rapprocher de ces savants auteurs, et, nous servant des documents qu'ils nous ont fournis, nous avons donné de nombreux détails sur les mines métalliques qui furent, de notre temps, les plus délaissées; mais nous devons répéter ici ce que disait à leur égard M. Leplay, en 1846:

« Beaucoup d'assertions reposent sur des traditions et sur des docu-
« ments dont, dans beaucoup de cas, la vérification est évidemment
« impossible. De la nature même des gîtes métallifères, il résulte,
« d'ailleurs, qu'on ne peut trouver que dans une suite de travaux judi-
« cieusement conduits la confirmation des présomptions déduites de
« la tradition, de la nature géologique du sol, des affleurements du
« minerai, de la comparaison avec d'autres gîtes voisins ou situés dans
« des conditions analogues. La science et l'analogie ne peuvent, en de
« telles matières, indiquer que des probabilités; c'est l'expérience seule
« qui peut conduire à la certitude. »

Pénétré de l'idée que les hommes ne voient pas les choses de la même manière, que très-souvent un ingénieur saura tirer parti d'un gisement qui ne donnerait que des pertes à un autre, que des indices extérieurs peuvent être jugés différemment, nous avons cru devoir signaler la plupart des indications données jusqu'ici, quelle que fût leur importance ou leur peu de valeur.

Nous avons reproduit, autant que possible, l'opinion qu'exprimaient, à l'égard de la valeur des gisements, des ingénieurs compétents, mais nous avons cru devoir laisser, le plus souvent, le lecteur ou l'observateur juge des circonstances favorables ou défavorables qui entourent ces gisements.

Enfin, nous nous sommes scrupuleusement attaché à indiquer les sources où nous avons puisé nos renseignements, et surtout à donner les noms des ingénieurs ou des personnes qui ont bien voulu répondre à nos demandes, et auxquels nous adressons ici nos remercîments les plus sincères.

APERÇU

DE LA

RICHESSE MINÉRALE

DE LA FRANCE

PAR M. ALFRED CAILLAUX.

.... Et pius est patriæ facta referre
Labor.

OVIDE.

INTRODUCTION.

La France des Gaulois et la France actuelle. — Influence des substances minérales sur la civilisation. — But du travail.

Il y a environ vingt-cinq siècles, les Gaules, dont la France, dans ses limites actuelles, forme la plus grande partie, étaient presque entièrement couvertes de forêts immenses. Les Phocéens n'avaient pas encore fondé Marseille, nos grands ports de l'Océan n'existaient pas, et, en dehors de quelques colonies établies par les Phéniciens sur nos rivages comme sur ceux de l'Espagne et de l'Italie, les vagues de la mer venaient librement se briser sur les rochers du littoral ou s'étendre sur la plage.

Quand Jules César pénétra dans les Gaules, il y a dix-neuf cents ans, sept millions d'habitants environ étaient disséminés ou groupés sur le bord des fleuves et des rivières qui sillonnent le vaste territoire compris entre les Pyrénées, les Alpes et l'Océan. Ces fleuves et ces rivières étaient les principaux moyens de communication, les principales artères du commerce de cette époque, et les transports qui se faisaient partout

ailleurs s'effectuaient au moyen de lourds chariots qui suivaient des voies informes dont le sol était, le plus souvent, le sol naturel des champs.

Dans ces temps qui nous paraissent si éloignés quand nous les rapprochons de notre histoire moderne, et qui, en réalité, sont bien près de nous si nous les rapportons à l'ancienneté de l'humanité tout entière, la civilisation des Gaules, quoique bien inférieure à celle de Rome. avait cependant fait déjà de grands progrès.

Cette civilisation était bien loin de l'époque où nos ancêtres n'avaient pour armes que des fragments d'os ou de silex, n'avaient pour abri que le feuillage de la forêt ou le toit des cavernes.

Les armes des Gaulois étaient de fer; l'or et l'argent ornaient le costume des grands.

Mais, malgré toute l'importance des conquêtes déjà faites au profit de la civilisation, le commerce et l'industrie n'étaient en réalité que bien peu de chose.

Les bourgs étaient sans murailles, les cabanes sans meubles, et, avant l'invasion romaine, sans le cri de guerre qui, de temps à autre, retentissait dans la vallée, le silence des Gaules n'aurait été que bien faiblement troublé par le bruit du travail du fer sur l'enclume des Bituriges, par les fabricants d'Alésia ou d'Entrains, par les laveurs d'or, par les mineurs tectosages, ruthènes ou gabales, ou par les agriculteurs dans les champs de la plaine.

Aujourd'hui, près de quarante millions d'habitants occupent un espace plus restreint que celui qu'occupaient les Gaulois, et presque partout, dans cet espace, existent le mouvement et la vie; des routes et des canaux sillonnent le territoire tout entier, des villes et des monuments ont été élevés sur l'emplacement de la forêt antique. Animées par le feu, des machines, marchant avec une rapidité et une précision surprenantes, transportent annuellement, à de grandes distances, des millions de voyageurs et des millions de tonnes de marchandises; la mer, cet élément qui, par son contact avec tous les continents du globe, concourt à l'harmonie générale et à l'alliance universelle des peuples, cette route, toujours ouverte et toujours prête, apporte sur nos côtes les produits de toutes les parties du monde; sous l'influence d'un fluide mystérieux encore, le secret de l'avenir, la pensée vole sur un fil et se transmet presque instantanément d'un point à un autre au travers des rochers et des mers; l'acier coule à torrents des issues d'un fourneau gigantesque.

Chez les Gaulois, à côté des brocards d'or du riche, le travailleur de la terre et l'artisan se couvraient de peaux de bêtes; la misère et la servitude étaient leur apanage et l'apanage de la plus grande partie de la nation.

Aujourd'hui, plus de peaux de bêtes sur le corps des descendants des Gaulois, plus de servitude..... Et je n'ai rien dit de tant d'autres mer-

veilles accomplies par l'intelligence humaine, merveilles que nous admirons et dont nous profitons tous les jours.

Quel est celui qui, rapprochant dans sa pensée ce qu'il fut dans ses ancêtres et ce qu'il est aujourd'hui, ne se sente profondément ému et ne s'enorgueillisse de ces principes modernes qui, proclamant la liberté du travail et tendant de plus en plus à développer la puissance de l'initiative individuelle, ont fondé l'ère de cette liberté, sans laquelle rien ne pourrait être fécondé.

Un grand mouvement civilisateur, commercial et industriel, s'est donc opéré en France depuis la conquête des Romains jusqu'à nos jours; mais ce n'est pas en France seulement que ce mouvement s'est manifesté. Il s'est répandu partout en Europe avec plus ou moins d'activité, et il n'est, en réalité, que le résultat de l'élaboration des idées pendant un temps dont nous ne saurions calculer la durée; il est l'œuvre continue des siècles et l'effet de la marche ferme et sûre du progrès, que des événements passagers peuvent momentanément ralentir, mais qu'aucune puissance de ce monde, quelque puissante qu'elle soit, ne saurait arrêter.

Babylone et Ninive peuvent devenir un désert où l'on ne verra plus que quelques pasteurs isolés : les grandeurs de l'Égypte et de la Grèce antique peuvent disparaître et ne laisser sur leur sol que les ruines de Thèbes et d'Athènes, sans que la civilisation s'éteigne; nous la voyons, en effet, renaître, sous des formes toujours nouvelles, à Rome et à Lutèce, retourner vers les lieux qu'elle avait abandonnés, et progresser partout, aujourd'hui, sur les trois continents.

Les substances minérales ont joué un rôle considérable dans ce mouvement que nous venons de signaler, et qui s'est accompli depuis l'origine de l'humanité jusqu'à nos jours.

Il suffit, pour s'en convaincre, de réfléchir sur ce que serait le monde si la fusion des métaux et l'art de les travailler n'avaient pas été révélés.

Si nous jetons un coup d'œil sur les ruines qui nous rappellent d'anciennes splendeurs, sur les temples qui sont debout ou sur les objets, ustensiles et outils, que les archéologues recherchent avec tant de patience et tant de dévouement pour éclairer l'histoire et la vie des temps passés, nous voyons le travail se modifier d'âge en âge et, par des perfectionnements successifs, satisfaire aux besoins toujours nouveaux que font naître ces perfectionnements eux-mêmes.

Les silex travaillés, les murs cyclopéens, les objets de bronze découverts au milieu des débris amoncelés sur l'emplacement des stations lacustres, les portes d'airain de Babylone, les bronzes de Pompéi, les constructions en fer élevées déjà ou qui s'élèvent partout autour de nous, sont autant de monuments qui marquent les diverses phases de la civilisation, qui en forment, en quelque sorte, les étapes, et qui nous montrent qu'en réalité cette civilisation a été et est encore subordon-

née à la découverte des métaux et à leur emploi comme aux perfectionnements successifs accomplis dans les procédés de leur fabrication.

Cet aperçu rétrospectif nous montre enfin la civilisation grandissant avec les conquêtes de l'homme sur le règne minéral, et se transformant constamment depuis l'âge de la pierre jusqu'à nos jours.

Sans entrer dans d'autres considérations ni dans de plus profonds détails, il est facile de discerner l'influence que les substances minérales ont exercée jusqu'à présent sur le mouvement humanitaire, et, entre toutes, quelles sont celles de ces substances qui y ont pris la plus grande part.

Il y a deux mille ans, c'était le bronze qui régnait sans partage; aujourd'hui c'est le fer, et ce dernier métal est pour nous l'une des nécessités de la vie. « L'or pourrait disparaître, dit M. Michel Chevalier, sans « que la civilisation en fût troublée; mais, si demain, par l'effet d'un « prodige subit, le fer venait à nous être ravi, ce serait une indescrip- « tible calamité : tout rétrograderait, et la civilisation, du même coup, « serait frappée d'impuissance. »

S'il en est ainsi du fer, que ne peut-on pas dire de la houille, sans laquelle l'usage de ce métal n'aurait pu, de longtemps encore, parvenir à être généralisé autant qu'il l'est aujourd'hui.

Répandu partout dans l'univers, le charbon entre pour une grande part dans les carbonates de chaux qui forment une partie de l'épaisseur de la croûte terrestre. Combiné dans un nombre infini de proportions avec l'hydrogène, l'azote et l'oxygène, il constitue dans le règne animal et dans le règne végétal une variété innombrable de créations diverses, et une multitude d'êtres qui peuplent et animent la surface de la terre [1].

Le charbon, cette pierre noire que nos ancêtres ont toujours heurté du pied sans se douter de l'influence qu'il exercerait sur les destinées de leurs descendants, constitue des dépôts considérables de combustible qui gisent à des profondeurs plus ou moins grandes dans les couches de l'écorce du globe.

Ces dépôts, amassés par le temps pendant les âges qui ont précédé l'apparition de l'homme sur la terre, accumulés pour lui par la Providence, renferment d'immenses richesses qu'il utilise aujourd'hui au profit du bien-être général, au profit de la civilisation.

Ces richesses ont été pendant longtemps ignorées : jusqu'au milieu du dix-huitième siècle, c'était le charbon des forêts qui alimentait presque exclusivement les fourneaux d'où sortaient le fer, le plomb, le cuivre et l'argent; mais, à cette époque, on vit la houille intervenir dans la fabrication du fer, et cette fabrication nouvelle, l'une des plus importantes et des plus utiles qui aient été faites jusqu'à présent, vint, désormais, féconder des inventions qui possédaient le germe des révolutions de l'avenir, auxquelles n'auraient jamais pu suffire les forêts de nos contrées.

1. Voir Jean Reynaud (*Minéralogie des Gens du monde*).

et qui, sans elle, seraient restées longtemps encore dans l'oubli et dans l'inaction.

Ainsi, en 1690, Papin trouva le moyen d'appliquer la force de la vapeur et de l'utiliser pour la navigation; mais on en était encore aux lenteurs industrielles des temps passés, on ne voyait pas encore ces immenses usines qui produisent à flot le fer et l'acier et stimulent au plus haut degré les recherches progressives, et son navire, détruit en 1707 sur les bords du Weser par des rivalités mesquines, fut oublié pendant plus d'un siècle.

Newcomen crée la pompe à feu, et cette pompe, qui resta longtemps sans perfectionnements, fut seulement appliquée, pendant bien des années, à l'épuisement des eaux de quelques mines.

En 1630, un Français inconnu, Beaumont, établissait un chemin de fer à Newcastle pour le service des mines, et cette invention, très-restreinte d'ailleurs, ne s'étendit pas plus que celle de Newcomen.

Au commencement du dix-septième siècle, Cardan entrevit la télégraphie électrique qu'Ampère devait plus tard définir d'une manière plus précise encore; mais on ne pouvait alors la considérer que comme un rêve tant que l'on n'aurait pas des voies de communication offrant toutes les sécurités possibles.

Toutes ces inventions, si riches et si fécondes, qui indiquent le puissant mouvement des esprits dans ces derniers siècles, toutes ces inventions qui devaient, pour ainsi dire, fixer le commencement d'une nouvelle ère pour la civilisation moderne, devaient attendre que les circonstances favorables à leur entier développement fussent réunies.

Leur heure n'était pas arrivée, mais elle était proche, quand on pensa à remplacer le charbon de bois dans les hauts-fourneaux par la houille carbonisée ou le coke, et quand, de 1783 à 1785, Cort et Parnell parvinrent à affiner la fonte avec le combustible minéral.

A la fin du siècle dernier, on pressentait toutes les transformations que ces procédés nouveaux allaient introduire dans les usages industriels et dans la vie matérielle, et on ne saurait oublier les efforts qui furent faits, chez nous, dans le même sens et à la même époque, par Guyton de Morveau.

Ces fabrications nouvelles furent alors une véritable révolution, qui exerça une immense influence sur le commerce et sur l'expansion des idées.

A partir du jour où elles entrèrent dans la pratique industrielle, les limites qui restreignaient le génie de l'homme dans un cercle trop étroit purent s'élargir. Watt, Fulton, Stephenson et Séguin, par des perfectionnements et des inventions nouvelles, purent bientôt généraliser et étendre les bienfaits de la vapeur et des chemins de fer, et la télégraphie électrique put être appliquée en toute sécurité.

Dès ce moment, les forces de l'homme furent centuplées, et rien ne

pouvait arrêter l'élan qu'avaient déjà donné les héros de l'industrie de la paix et de la pensée, bien supérieurs aux héros destructeurs de la guerre, tels que Jacquart, Arkwright, etc.

Dès ce moment, enfin, une organisation nouvelle, conséquence aussi des efforts des esprits, devait succéder à celle des temps passés. L'affranchissement et la noblesse du travail purent se substituer à la servilité antérieure, et tous les citoyens eurent le droit de prétendre à la jouissance de leur part d'un bien-être que la majeure partie d'entre eux n'aurait probablement jamais connu ni espéré.

Ces découvertes relatives à l'emploi des substances minérales furent donc de véritables conquêtes, et c'est par elles que les chemins de fer peuvent sillonner le monde et porter partout la lumière, la civilisation et ses bienfaits. Conquêtes sublimes qui repoussent au cinquième siècle et au temps de la barbarie les conquêtes et les rançons de 1871 !

Après la houille et le fer, l'or et l'argent, deux autres substances, qui proviennent aussi de la terre, ont exercé et exercent encore sur les destinées humaines une influence qui a été signalée bien des fois et que tout le monde comprend.

Dans tous les temps, ces deux métaux ont été avidement recherchés; ils ont probablement excité des entraînements analogues à celui dont nous avons été les témoins quand on constata leur présence en Californie et en Australie.

L'expédition des Argonautes allant à la conquête de la Toison d'or et la légende qui s'y rattache nous donnent une idée de l'ardeur avec laquelle on courait anciennement à la recherche de l'or; et, de notre temps, il a suffi que ce précieux métal fût découvert sur quelques points pour déterminer un considérable mouvement d'émigration. Des populations entières se sont déplacées, des villes ont surgi comme par enchantement sur des territoires qui n'étaient qu'un désert, et, à la place de hordes indiennes ou sauvages, nous avons vu s'organiser de nouvelles sociétés fébrilement actives et industrieuses, portant avec soi l'ordre et les ressources de la civilisation la plus avancée.

Ces faits surprenants, qui nous montrent l'établissement de peuples nouveaux, en Californie comme en Australie, par suite de la découverte de métaux précieux, ne se seraient probablement pas opérés de la même manière, ou se seraient présentés sous une autre forme, si l'on avait voulu en soumettre les mouvements à des réglementations énervantes ou aux effets d'un pouvoir despotique; mais les produits précieux qui en résultaient n'auraient pas cessé d'exercer quelque part une puissante influence.

Ainsi, l'Espagne ne parvint pas à créer au Mexique, après 1492, un état nouveau riche et prospère. Les richesses immenses qu'elle trouva dans ses conquêtes ou dans la capitale de Montézuma ne furent pour elle qu'une cause de ruine, de misère et d'abaissement; mais ces richesses

devaient néanmoins être utiles au monde, et elles le furent par l'achat qu'en faisait l'Angleterre, qui accroissait ainsi ses éléments de travail, sa prospérité industrielle et sa puissance commerciale[1].

Ces quelques mots suffisent pour faire comprendre d'une manière générale une grande part de l'influence que peuvent exercer les métaux précieux sur la civilisation; mais nous la comprendrons mieux encore si nous parlons de ce qui se passe de nos jours.

De 1848 à 1865, les mines de la Californie et de l'Australie produisirent une valeur de plus de dix milliards de francs, plus du cinquième de ce qu'avait produit l'Amérique depuis le moment de sa découverte, en plus de trois cents ans.

Ces sommes énormes de numéraire, mises en circulation dans l'univers entier, répandues au milieu de sociétés organisées tout autrement qu'elles ne l'avaient été dans les siècles antérieurs, ne furent pas versées seulement dans quelques mains ou au profit de quelque caste, comme cela aurait eu lieu autrefois. Tout le monde en a eu plus ou moins sa part. Elles arrivaient au moment même où des projets considérables de travaux publics étaient conçus sous l'influence des inventions modernes, et elles payèrent une grande partie de ces travaux, accomplis depuis vingt-cinq ans dans le monde civilisé.

A ce point de vue, leur découverte, à ce moment, fut en quelque sorte un fait providentiel.

Elles ont exercé une immense influence sur le mouvement des affaires comme sur la vie matérielle, et si on peut leur attribuer l'élévation du prix de certaines choses, on peut assurer aussi qu'elles ont singulièrement coopéré à l'abaissement du prix de beaucoup d'autres en favorisant au plus haut degré le développement industriel actuel.

Les métaux précieux ont donc concouru, avec le fer et la houille, à accroître le bien-être général et la richesse publique, et leur abondance, qui est loin de suffire aux besoins de nos temps, puisque nous devons suppléer à ce qui nous manque par des masses énormes de monnaie fiduciaire, ne saurait devenir préjudiciable ou funeste que si on ne pouvait plus les transformer en travail.

Les autres métaux, tels que le plomb, le cuivre, l'étain et le zinc n'exercent sans doute qu'une action beaucoup plus modeste sur la civilisation, mais leur emploi est plus répandu que jamais, et des populations entières, en Allemagne, en Suède, en Sardaigne et ailleurs, vivent du produit de leur extraction, tandis que leur commerce donne lieu à un mouvement d'affaires et de capitaux considérable.

Sans nous étendre davantage sur ces considérations, nous devons donc reconnaître que non-seulement les substances minérales, quelle que soit leur nature, exercent une influence locale dans les endroits où elles

1. Montesquieu, *Esprit des Lois*.

se trouvent, en y appelant le travail pour tous les degrés de la population, mais elles ont une action beaucoup plus étendue et beaucoup plus large, et elles ont peu à peu conduit l'homme « d'un état voisin de la brute à celui de dominateur du monde[1]. »

« Devons-nous maintenant attendre des mines, dit avec raison M. Fournet, des découvertes qui, dans un temps plus ou moins éloigné, feront « faire de nouveaux pas dans la rude voie de la perfection? C'est ce que « j'ignore; mais si je jette les yeux autour de moi, je ne vois certainement pas l'activité prête à s'éteindre, le progrès sur le point de s'arrêter. Le mineur, toujours à son poste depuis l'enfance de l'homme, ne « s'endort pas encore près de son pic, et, bien certainement, Dieu, qui « l'a mené jusqu'à ce jour, saura lui faire allonger ses échelles dans les « entrailles de la terre et abaisser jusqu'au niveau des mers les galeries « d'écoulement, dès l'instant où de nouvelles nécessités exigeront soit « des substances ignorées jusqu'à ce jour, soit des filons nouveaux pour « remplacer les anciens. »

Ces quelques mots suffisent pour exprimer tout l'intérêt qui s'attache à l'étude des substances minérales, et pour montrer en même temps qu'une nation qui possède dans l'étendue de son territoire le charbon, le fer et les métaux, accroît sa force et sa puissance en les exploitant; ils justifient, enfin, l'examen que nous allons essayer de faire des richesses minérales que possède notre pays.

Nous voyons, en France, de nombreux dépôts de combustibles et de nombreuses mines de fer. Les uns et les autres sont aujourd'hui plus recherchés que jamais, et l'art du mineur y est poussé jusqu'aux limites les plus avancées; mais à côté de ces richesses existent encore de vastes étendues de montagnes qui renferment des indices et des traces de mines de plomb, d'argent, de cuivre, pour la plupart délaissées. Ce délaissement a même subsisté avec tant de persistance dans les siècles derniers, que dans le siècle actuel on regardait généralement la France comme dépourvue de substances métalliques.

Nous voulons donc essayer de modifier cette opinion.

D'ailleurs, en voyant les circonstances nouvelles de l'industrie et le besoin croissant du travail; en voyant ce vaste réseau de chemins de fer qui transforme les conditions économiques et pénètre jusque dans les gorges des montagnes; en constatant que, depuis dix ans seulement, nous avons payé des centaines de millions pour achat, à l'étranger, de métaux que l'on pourrait, suivant nous, extraire en grande partie de notre sol, et depuis vingt-cinq ans plus de 2 milliards aux houillères étrangères, nous avons pensé qu'il pourrait être utile et intéressant de présenter, pour les temps actuels, dans un cadre aussi restreint que possible, un tableau général des mines de France, et d'indiquer le plus

1. Fournet. *Du rôle du mineur.*

grand nombre de ces gisements métallifères que l'on travaillait avec tant d'ardeur pendant le moyen âge.

Nous ne donnerons que des considérations générales sur les mines de houille et de fer dont l'activité tend à s'accroître de plus en plus; mais nous détaillerons davantage ce qui se rapporte aux mines métalliques pour lesquelles, malgré les progrès qui semblent se manifester aujourd'hui, tout, à peu près, est à créer encore, et nous verrons successivement les Vosges, les Alpes, le plateau central, la Bretagne et le midi de la France.

Nous essayerons, enfin, et c'est là notre principal but, de réunir des matériaux épars, de rappeler ce qui a été dit par les ingénieurs de nos jours ou par les savants mineurs des temps passés, et d'exprimer les impressions que nous avons recueillies nous-mêmes en parcourant nos montagnes.

Nous ne nous dissimulons point toutes les difficultés d'un pareil travail; bien des choses nous échapperont, sans doute, et nous sommes bien loin de prétendre faire connaître toutes les mines de la France; le seul but que nous nous proposions est de réunir et grouper *utilement*, dans un cadre restreint, des documents aujourd'hui épars et disséminés, et ce but sera atteint si ces quelques pages peuvent, malgré leur imperfection, faciliter aux chercheurs les moyens d'étudier, d'une manière plus complète que nous ne l'avons fait nous-même, les gisements de notre pays et d'en tirer parti.

Cependant, avant d'entrer dans le détail des questions et des mines que nous nous proposons d'examiner, nous pensons qu'il ne sera pas inutile de donner, dans les considérations qui vont suivre, quelques aperçus relatifs aux mines métalliques et aux théories dont les gisements métallifères ont été l'objet.

Considérations générales sur les substances métalliques; leur manière d'être au sein de la terre; Théories dont leur formation a été l'objet.

I

Minerais. — Tableau des principaux minerais. — Richesse et teneur des minerais. — Gîte, gisement. — Richesse d'un gisement. — Association des substances d'un gisement. — Nature des gangues. — Éléments d'un gisement. — Allure. — Affleurement. — Toit et mur. — Épontes. — Puissance. — Direction. — Inclinaison. — Salbandes.

Minerais. — On appelle *minerais* les substances métallifères, plus ou moins accompagnées de matières étrangères et pierreuses, susceptibles d'être traitées pour l'extraction du métal utile qu'elles renferment.

Ces minerais offrent souvent des compositions très-complexes, et présentent même quelquefois des mélanges dont le traitement métallurgique est difficile et compliqué.

Ceux d'entre eux que l'on recherche le plus ordinairement, considérés dans leur état de pureté, sont désignés dans le tableau suivant, à l'exception des minerais de fer qui sont généralement des oxydes, des oxydes hydratés et des carbonates.

MÉTAL.	MINERAIS.	DENSITÉ.	COMPOSITION ATOMIQUE.	TENEUR EN MÉTAL POUR CENT.
Or	Or natif	14,8 à 19	Généralement allié à l'argent.	28 à 98,76.
	Pyrites de fer aurifères			
	Pyrites cuivreuses aurifères			
Platine	Pl. natif	16 à 19	....	73 à 84.
Argent	Arg. natif	10,4		
	— sulfuré	7,19	$Ag. S.$	86 à 87.
	— rouge	5,7 à 5,8	$3 Ag S + Sb^2 S^3$	57 à 60.
	— antimonial	9,4 à 9,8	$Ag^2 Sb$	76.
	— chloruré	5,27	$Ag Cl^2$	67 à 76.
	— bromuré	4,7	$Ag Br^2$	57.
Cuivre	Cuivre natif	8,58		
	— oxydulé	5,60	Cu	Jusqu'à 88.
	— oxydé noir	....	....	33.
	— sulfuré	5	$Cu^2 S$	74 à 79.
	— pyriteux	4,16	$FS + CuS$	30 à 34.
	— panaché	5,03	$FS + 2Cu^2S$	58 à 70.
	— gris ou fahlerz	4,38 à 5,10	$Fe^4 Cu^{16} Sb^6 S^3 . {}^1 Fe^4 Cu^{16} Ar S^3$	19 à 45. (Souvent argentifères, tenant de 1 à 18 °/o d'argent et plus.)
	— oxyde terreux			
	— carbonaté bleu	3,88	$2Cu C^2 + Cu Aq$	55.
	malachite	4,08	$2Cu C + Aq.$	
	— sulfaté	2,19	$Cu Su^3 + 6Aq$	25.
Plomb	Galène	7,56	$Pb S$	85, souvent argentifère.
	Bournonite	5,8	$CuS + PbS + Sb.S$	39 à 42, id.
	Pl. carbonaté	6,4 à 6,7	PbC^2	71.
	— sulfaté	6,2 à 6,3	$Pb Su^2$	66 à 67.
	— phosphaté	6,9	$3Pb^3 Ph^5 + PbCl^2$	68 à 69.
Zinc	Blende	4,16	$Zn S$	61 à 66.
	Calamine	4,45	$Zn C^2$	52.
Étain	Ét. oxydé	6,9	....	76 à 77.
Manganèse	Pyrolusite	4,82 à 4,94	Mn	Oxyde 72 à 85.
	Psilomélane	....	$Ba Mn^4 + 2Ag$	— 64 à 70.
Fer	Pyrite de fer	5	$Fe S^2$	Souvent aurifère.
	Pyrite magnétique	4,63	$Fe S^2 + CFS.$	
	Fer spathique	3,82	$Fe^2 FC^2.$	
	Couperose	1,84 à 1,97	$Fe Su^3 + 6Ag.$	
Tungstène	Wolfram	7,15 à 7,3	(f, mn, mg, ca) W^6.	
Nickel	N. gris			
	N. arsénical ou kupfernickel	7,6	$Ni As^2$	20 à 42.
Cobalt	Co. arsenical	6,33 à 6,6	$Co As^2$	Co. 28 As 65.
	— gris	6,29	$Co As^2 + Co S^2$	Co. 33 As 43.
Antimoine	A. sulfuré	4,62	$Sb S^3$	73, quelquefois argentifère.
Mercure	M. natif	13,58		
	Cinabre	8,09	$Hg S$	51 à 84.
Bismuth	B. natif	9,73		
	B. oxydé	4,36	....	86.
Chrôme	Fer chromé	4,49	$(Fe Al) Cr$	Ox. de ch. 35 à 36.
Arsenic	As. natif	5,7 à 6		
	Réalgar	3,5 à 3,6	$As S$	As. 69.
	Orpiment	3,4	$As S^2$	As. 61 à 62.
	Mispikel	6,12	$FS^2 + FAs^2$	As. 43 à 46, 8.20.

Richesse et teneur des minerais. — Il est bien rare de trouver dans la nature des agglomérations de minerais un peu importantes, possédant un titre de richesse pareil à ceux que nous venons de donner dans le tableau précédent.

Ordinairement, les minerais sont intimement mélangés avec d'autres substances, et dans la pratique leur teneur en métal est relativement peu élevée. Aussi, on se ferait une idée bien inexacte de la réalité, si on croyait que les mines qui produisent le plus de métaux sont celles où les minerais que l'on en extrait sont les plus riches.

Généralement, les produits des gisements les plus importants sont plutôt dus à la persévérance, à la conduite du travail et à l'abondance régulière du minerai qu'à sa richesse intrinsèque.

Ainsi, les mines de Pernucillo, au Chili, qui ont produit chaque année des quantités énormes de minerai de cuivre, ne fournissaient que des minerais à la teneur de 6 pour 100.

Les mines de cuivre de Mondaca, dans le même pays, produisaient des minerais de 14 à 16 pour 100 et de 3 à 4 pour 100.

Les minerais ordinaires des gisements mexicains, qui ont fourni longtemps de grandes quantités d'argent, renferment 2 à 300 grammes d'argent aux 100 kil.

Dans l'ancienne seigneurie hessoise de Thal-Itter, dans les montagnes de la Wesphalie du Rhin, les minerais de cuivre ne rendent pas plus de 1 à 2 pour 100.

Les célèbres schistes cuivreux de Mansfeld, dont l'épaisseur dépasse à peine 2 pieds, sur lesquels 2 à 7 pouces seulement sont exploitables, produisent des minerais qui donnent seulement 1,6 à 4 pour 100 de cuivre, et le cuivre qu'on en retire contient 0,45 à 0,56 pour 100 d'argent.

La teneur moyenne en argent des minerais de plomb argentifère de la province de Murcie, d'après M. l'inspecteur général Amalio Maestro, était, en 1867, de 700 grammes aux 1,000 kil. de plomb.

Les minerais de plomb de cette même province, composés de galène, de carbonates et de sulfates, s'ils avaient été mélangés ensemble, n'auraient pas donné plus de 10 pour 100 de plomb.

D'après le même ingénieur, la Sierra Almagrera, d'où on a extrait une quantité considérable d'argent, offrait une teneur moyenne de 187 grammes aux 100 kil. de minerai.

En Australie, d'après les rapports des inspecteurs, en 1867, 3,110,338 tonnes de quartz, broyé et lavé, provenant des veines quartzeuses, n'ont fourni moyennement que 19 grammes 0,12 d'or par tonne.

Les minerais d'or de Saint-John del Rey, au Brésil, extraits d'une profondeur de 300 mètres, qui, pendant trente-six ans, ont donné un bénéfice de 25 millions de francs, rendaient moyennement de 7 à 9 dollars par tonne ou de 3f,50 à 4f,50 aux 100 kil.

Les mines de cuivre de Bernsbo', en Suède, ne fournissent que des minerais d'une teneur de 5 à 6 pour 100.

Nous ne multiplierons pas davantage ces exemples, qui suffisent pour prouver que l'abondance des minerais plus que leur teneur élevée et surtout l'ordre et l'économie dans le travail, sont les véritables sources de la fortune d'une mine.

Nous compléterons cependant ces aperçus par le tableau suivant, qui donne les teneurs générales des minerais dans un grand nombre de mines actuelles ou anciennes, actives ou abandonnées.

DÉSIGNATION.	ÉTAIN aux 100k.	CUIVRE aux 100k.	PLOMB aux 100k	OR grammes pour 100k.	ARGENT grammes.	AUTEURS
Angleterre. Cornouailles et Devon		12. 8 à 9	»	»	»	
Devon. Great-Consols		6,4	»	»	»	
Cornouailles					108 aux 100k Pb.	Robert Hunt, 1864.
Cardiganshire					232 à 248 id.	Id.
Devon					124 id.	Id.
Cumberland					28 id.	Id.
Westmoreland					37 id.	Id.
Ile de Man					62 id.	Id.
Cornouailles	2 à 3	»	»	»	»	
Allemagne. Silésie. Tarnowitz			70		58 id.	Rivot.
Ober-hartz. Lautenthal			50		245 id.	Id.
Saxe. Freyberg			16		88 aux 100k minerais.	1867.
Autriche. Przibram					738 pour 100k Pb.	An. des mines, 1869.
					191 id.	Id.
Id. Filons de Mies					200 pour 100k blende.	Id.
Id.					20 pour 100 galène.	Id.
Nassau. Obernhof et Vinden					217 à 248 id.	
Tyrol				0,1 à 0,2		Gruner.
Carinthie. Bleiberg			72	»	»	
Suède. Mine de Sala					150 pour 100k galène.	1867.
Bernsbo'		5	»	»	»	
Fahlun		3	»	»	»	
Carpenberg		3	»	»	»	
Norwége. Roras		1,5	»	»	»	
Belgique. Bleyberg			72		16 pour 100k Pb.	
Russie. Usines de Bogolowsk		1/2 à 2	»	»	»	
Altai. Usines de Nertschinsk			26		1100 pour 100 Pb.	Ann. des M., t. III.
Espagne. Sierra de Gador			66			Amalio Maestre.
Sierra Morena			60		62 à 93 p. 100k minerais	Id.
Huelva		3 à 4				Id.
Almagrera					187 pour 100k id.	Id.
Cuba[1]		24. 18,85 16. 13,62				Exposition 1867.

(1) Richesse qui a diminué avec la profondeur. Celle-ci a atteint 356 mètres.

DÉSIGNATION.	ÉTAIN aux 100 kil.	CUIVRE aux 100 kil.	PLOMB aux 100 kil.	OR grammes pour 100 kil.	ARGENT grammes.	AUTEURS
Portugal. Talhadella					350 pour 100k blende	Exposition 1867.
Braçal			65		25 pour 100k minerais	Id.
Rives du Guadiana			70		45 id.	Id.
Amérique. Mexique. Fresnillo					210 pour 100k minerais.	Rivot.
Chili. Pernucillo		6	»	»	»	»
Mondaca		14 à 15	»	»	»	»
Brésil. San-John del Rey				1,2 à 1,10	»	»
Nicaraga				36	178 id.	Exposition 1867.
Californie	»	»	»	0,025	alluvions	Daubrée.
Comstock lode					100 pour 100k minerais.	Mining Journal, 1868.
Lac supérieur		2,7 p. 100k roche				Withney.
Minerai *Barrel Work*		50				Id.
Id. *Stamp Work*		5				Id.
Minesota		75				Id.
Vallée du Mississipi. New-Hampshire		12				Id.
Connecticut		30	»	»	»	»
Tennessée		20 à 25	»	»	»	»
Canada		6 à 26	»	»	»	»
Australie				2,55 2,94	»	»
Id. Veines de quartz				5,10 1,9	»	»
France. Aveyron. Pichignet		15	43		75 pour 100k minerais	Gruner.
Villefranche					360 id.	Senez.
Id. Labaume		»	»	»	600 pour 100k Pb.	Notices 1867.
Filon Saint-Jean					603 pour 100k minerais.	Senez.
— Penneveyre			76		445 id.	Id.
Mas du Buisson					330 id.	Id.
Teneur moyenne d'un grand nombre de filons					300 à 450	»

DÉSIGNATION.	ÉTAIN aux 100 kil.	CUIVRE aux 100 kil.	PLOMB aux 100 kil.	OR grammes pour 100 kil.	ARGENT grammes.	AUTEURS
Lozère. Vialas (1866)			40		460 pour 100^k Pb	Descottes.
Haute-Saône. Plancher les Mines		2,5	62		12 0 id.	Comptes rendus, 1846.
Notre-Dame			15 à 20		1000 id.	De Genssane, 1740.
Mont-Ménard			60 à 65		93 id.	Id.
Mont de Vannes			70		93 id.	Id.
Vosges. Lacroix-aux-Mines		23			531 id.	Monnet, 1780.
		17 à 20			625 id.	Id.
Haut-Rhin. — Belfort. Giromagny					875 pour 100^k minerais.	Documents anciens.
Teneur moyenne de plusieurs filons		15 à 18			625 id.	Districh.
Auxelle. Saint-Jean			75		62 id.	Duhamel.
Rhône. Beaujeu. Ardillats		42	»	»	651 id.	Lamy.
Pyrites de fer de Chessy				1 à 10		Daubrée.
Savigny					90 à 100 id.	»
Brullioles (Jacques Cœur)					290? id.	Paradin, 1550.
Finistère. Poullaouen			66		30 id.	Gruner.
Huelgoat					200 id.	Id.
Hautes-Alpes. Chazelet					583 pour 100^k Pb.	De Pellat.
Grand-Clos			55		60 id.	Gruner.
Val Godemard					1200 à 1800	Baudinot.
					Aux 100^k cuivre	
Isère. Pontraut			58	2,88	244 pour 100^k minerais.	Gueymard.
La Cochette		26		2,26 aux 100^k cuivre.		Id.
Savoie. Pesey			65		200 pour 100 Pb.	Dépine.
Sarrasins			70 à 75		220 id.	Paret.
Servoz		8 à 10	30 à 36		180 id.	Robilant.
Nièvre. Chitry					120 pour 100^k galène.	Compte rendu, 1846.
Puy-de-Dôme. Pontgibaud			40 à 50		375 à 400 pour 100^k Pb	
Montnebout			70		60 id.	Notices 1867.
Ardèche. Largentière					815 id.	Ledoux.

Les exemples que nous venons d'exposer suffisent pour montrer, ainsi que nous l'avons dit plus haut, que la richesse d'une mine dépend moins de la teneur élevée des minerais qu'elle renferme que de leur abondance et de leur travail, et pour faire voir que la France, qui, depuis tant d'années, a été considérée comme pauvre ou dépourvue de substances métalliques, en possède tout aussi bien que les nations étrangères qui sont le plus cultivées.

Gîte. Gisement. Richesse d'un gisement. — On appelle *gîte* ou *gisement* d'un minerai le dépôt de ce minerai au sein de la terre, quelle que soit la forme de ce dépôt ou l'abondance du minerai qu'il renferme.

Un gîte ou un gisement sera *riche* s'il est abondant, et il sera *pauvre* toutes les fois qu'il ne renfermera pas ou qu'il ne produira pas une quantité assez grande de minerai pour supporter les dépenses d'extraction et de fusion, toutes les fois qu'on ne pourra pas en extraire avantageusement le métal qu'il contient.

La détermination de la richesse d'un gîte, à ce point de vue, le seul qu'il faille considérer dans la pratique, a dû souvent varier dans le cours des temps et avec le progrès des arts. Ainsi, un grand nombre de mines du moyen âge, exploitées à cette époque sur bien des points de l'Europe durent être abandonnées, en majeure partie, vers la fin du treizième siècle, parce que le minerai qu'on en extrayait devenait insuffisant pour couvrir les charges de l'exploitation.

On a souvent dit, mais sans approfondir cette question, qu'un tel abandon pouvait provenir de la fluctuation des prix des métaux, de la baisse de ces prix et de l'élévation de ceux de la main-d'œuvre; mais, en réalité, il avait plus particulièrement pour cause l'approfondissement des travaux, l'imperfection des moyens d'épuisement, de forage et d'aérage, et le poids des charges que les seigneurs faisaient peser sur les exploitants.

Plus tard, vers le seizième siècle, la plupart d'entre elles, en Allemagne, en Suède, etc., furent reprises avantageusement quand les exploitants eurent à leur disposition des forces nouvelles qu'avaient créées la science ou le besoin, quand ils purent ouvrir de grandes galeries d'écoulement et se servir de la poudre et du bocard dont l'emploi ne remonte qu'à 1505.

Ces mines sont donc redevenues riches sans que leur constitution propre ait varié; un grand nombre d'entre elles, abandonnées de nouveau, soit pour des causes analogues, soit par suite d'événements historiques qui frappaient toutes les industries, pourront le devenir encore avec l'application des moyens puissants que l'on possède aujourd'hui, tels que la vapeur, l'air comprimé, les perforateurs, les poudres explosives nouvelles, l'accroissement des voies de communication, et elles

resteront ainsi jusqu'à ce que la nécessité de forces plus actives se fasse sentir encore une fois.

Association des substances d'un gisement. — Les minerais sont rarement purs dans leurs gisements; ils sont généralement associés à d'autres substances, métalliques ou pierreuses.

Ces dernières prennent le nom de *gangues*.

L'or est presque toujours allié d'une manière intime avec l'argent; les minerais de plomb sont l'une des principales sources productives de l'argent dans le monde entier.

La galène, le plus répandu des minerais de plomb, est unie à la blende, et tous les deux sont quelquefois associés à des pyrites de fer et de cuivre, à du fer carbonaté ou à d'autres minerais de plomb, de zinc et d'antimoine. Les pyrites de fer accompagnent souvent les pyrites de cuivre, et elles renferment souvent de l'or en assez grande quantité pour être extrait avantageusement.

L'étain est presque toujours uni au wolfram.

Le cinabre est souvent en rapport avec des pyrites de fer et des matières bitumineuses.

L'arsenic et l'antimoine sont presque toujours associés aux minerais d'argent.

Le nickel, le cobalt, des antimoniures, des pyrites de fer ou des mispikels se rencontrent souvent dans les mêmes gisements.

Les matières pierreuses ou les gangues sont souvent en telles quantités dans un gisement métallifère; elles ont quelquefois des rapports si intimes avec les substances métalliques qu'elles accompagnent, que ces substances, disséminées au milieu d'elles, doivent être soumises à des opérations préalables avant de passer aux fours de fusion. On les trie à la main, aussi soigneusement que possible, on les casse, on les pulvérise sous des machines spéciales, telles que les bocards ou les cylindres broyeurs, et les sables ou les poussières qui résultent de cette pulvérisation passent généralement sous de nouveaux appareils qui ont pour objet d'écarter les gangues et d'arriver à produire un minerai renfermant le métal à un degré de richesse donné, que l'on se détermine d'avance, plus ou moins élevé selon les cas.

Ces opérations diverses, d'une immense utilité dans le travail des mines, qui exigent les plus grandes attentions, constituent ce que l'on appelle la *préparation mécanique des minerais*.

On aura une idée de l'importance de ces travaux et de leur nécessité, si l'on se rappelle que les minerais d'étain du Cornouailles, par exemple, renferment à peine 2 pour 100 environ de ce métal.

50 tonnes de minerai contiennent souvent beaucoup moins d'une tonne d'étain, qui vaut environ 3,000 fr.

On comprend donc que ce produit serait entièrement absorbé si l'on

voulait extraire directement, par la fusion, l'étain de ces 50 tonnes, tandis qu'on pourra l'obtenir avec avantage si, par des opérations préalables, on prépare et on écarte la plus grande quantité possible des gangues. C'est, en effet, ce qui se pratique, et en général ces 50 tonnes produisent une tonne de black-tin de 67 à 73 pour 100 d'étain, qui, seule, passe aux fours de fusion.

Cela suffit pour faire comprendre tout l'intérêt qui s'attache à ces opérations préliminaires.

Leur importance paraîtra bien plus grande encore si nous ajoutons que, dans notre pensée, indépendamment de la persévérance qui a généralement manqué chez nous, c'est peut-être à l'absence de moyens puissants de préparation mécanique que nous devons de voir notre pays obligé d'acheter à l'étranger l'étain, qu'il semble posséder en grande quantité dans ses montagnes, et que les anciens y ont exploité sur une multitude de points.

Il en est probablement de même de l'or, en France; les anciens, les Gaulois et les Romains, en tirant non-seulement du sable des rivières et des alluvions des Pyrénées ou du centre, mais ils en extrayaient encore des roches elles-mêmes. L'art, à ce point de vue, paraît être entièrement perdu; on n'a probablement cherché, chez nous, et encore en de rares circonstances, que l'or visible; mais le jour où on voudra explorer en grand, à l'aide de broyages suffisants, les quartz d'un grand nombre de nos contrées, on pourra peut-être y découvrir l'or que l'œil ne discerne pas et qui pourrait bien être plus abondant qu'on ne le suppose.

Nature des gangues. — Les gangues sont généralement des substances spéciales qui remplissent l'intérieur des gisements. Elles existent assurément dans les roches, au milieu desquelles se présentent ces gisements, mais elles se présentent plus spécialement agglomérées dans ces derniers, et le nombre de celles qui s'y trouvent ainsi réunies est assez restreint. C'est à cette répartition si différente que l'on doit généralement de voir les caractères distincts et tranchés qui séparent la roche d'un filon de la roche qui l'encaisse.

Le quartz, la baryte sulfatée et la chaux carbonatée sont les plus générales et les plus abondantes. Elles se présentent même si fréquemment, qu'on a pu distinguer, comme on l'a fait en France et en Allemagne, des gisements quartzeux, barytiques et spathiques, qui, tous, présentent des caractères spéciaux.

Parmi les gangues, il faut encore énumérer la chaux fluatée et le fer spathique qui, quelquefois, sont très-abondants.

Ces gangues ont souvent aussi des rapports plus intimes et plus directs avec la composition des roches qui les enveloppent.

Ainsi, les gîtes cuivreux de la Toscane et du Canada, qui se trouvent

subordonnés aux roches magnésiennes, sont remplis d'argiles stéatiteuses, au milieu desquelles sont disséminés les amas métalliques.

Le gîte de mercure d'Idria, en Carniole, situé au milieu des calcaires, présente une gangue de même nature que ces roches.

Le puissant gîte de Lacroix-aux-Mines, dans les Vosges, situé près des granites et des gneiss, offre une gangue qui, souvent, n'est pas autre chose qu'un granit décomposé ou une argile feldspathique provenant de la décomposition des roches encaissantes, et dont le maximum d'altération semble correspondre au maximum de la richesse métallique.

A Pontgibaud, dans le Puy-de-Dôme, les filons encaissés dans les gneiss sont généralement remplis d'argiles feldspathiques.

Dans les gisements d'étain, situés au milieu des granites, les gangues ne sont le plus souvent que des greisens ou des granites altérés ou kaolinisés.

Le quartz est généralement la gangue la plus répandue, et, on peut le dire, celle qui semble correspondre à la minéralisation métallique la plus grande.

A l'exception de ceux, nombreux aussi, où se trouve presque exclusivement la chaux carbonatée, on le voit dans la plupart des gisements.

Bien qu'on le rencontre à tous les étages de l'écorce terrestre, on peut dire qu'il constitue plus essentiellement des gisements puissants au travers des granites et des roches anciennes.

Cependant, il ne paraît pas être toujours métallifère, et l'expérience a distingué le *quartz sauvage*, pour ainsi dire pur, qui nous semble ne contenir aucune substance métallique utile qui lui soit associée, et le quartz métallifère, c'est-à-dire le quartz dont l'aspect et la forme indiquent le voisinage et la présence de richesses métalliques. Nous reviendrons sur ces distinctions en parlant des filons et de leur remplissage.

Eléments d'un gisement. — Tous les gisements métallifères, quelle que soit leur forme, possèdent des noms communs destinés à distinguer et à désigner leurs diverses parties ou leurs caractères. Ces noms sont les suivants :

Allure. — C'est le mode d'existence du gîte au travers des roches qui le renferment.

Cette *allure* est régulière ou irrégulière, suivant la régularité ou l'irrégularité des lignes que suit le gîte souterrainement ou à la surface du sol, suivant le plus ou moins de variations qu'il présente dans son développement.

Affleurement. — Dans un gîte, quel qu'il soit, on distingue l'*affleurement :* c'est la partie par laquelle le gîte se manifeste au dehors ; c'est sa trace à la surface du sol, qu'on peut y suivre, qui se montre aussi bien sur plusieurs mètres seulement que sur plusieurs kilomètres.

Toit et mur. Epontes. — Ce sont les surfaces qui limitent le gîte dans le sens de son épaisseur; les termes de *toit* et de *mur* s'appliquent plus généralement aux couches. Quand on chemine dans une couche ou dans un filon incliné et que l'on marche sur la surface qui la limite inférieurement, on a le toit au-dessus de la tête et le mur sous les pieds.

Dans les filons qui sont généralement verticaux, le toit et le mur prennent le nom d'*épontes.*

Puissance. — C'est l'épaisseur du gîte mesurée perpendiculairement aux deux surfaces limites, d'une éponte à l'autre ou du toit au mur.

Direction. — C'est la ligne horizontale tracée sur le mur ou sur l'une des épontes du gîte, rapportée aux quatre points cardinaux.

Ainsi, un filon a une direction *nord-sud* quand la ligne tracée sur son mur, appréciée à l'aide de la boussole, marche du nord au sud, etc.

Inclinaison — C'est l'angle que fait avec la verticale la ligne tracée sur le mur du gîte perpendiculairement à sa direction.

Salbandes. — Il arrive souvent que la roche métallifère qui remplit le filon est séparée des épontes par des bandes argileuses d'une épaisseur plus ou moins grande : ce sont les *salbandes* ou *lisières.*

II

Forme des gisements métalliques. — Gîtes irréguliers. — Gîtes réguliers. — Dépôts superficiels. — Amas. — Amas de contact. — Veines. — Stockwerks. — Disséminations. — Couches. — Filons. — Filons-couche. — Filons de contact. — Vrais filons. — Failles. — Rejets. — Renflements. — Amincissements. — Patte d'oie. — Ramifications. — Filons croiseurs. — Age des filons.

Formes des gisements métalliques. — Les gisements ou les gîtes métalliques ou métallifères se montrent soit à la surface du sol, soit souterrainement dans l'intérieur des couches stratifiées ou des roches massives, et les formes qu'ils affectent dans ces cas divers sont infiniment variées et des plus complexes.

Considérées d'une manière générale, on peut les ranger en deux grandes classes :

Gîtes irréguliers.
Gîtes réguliers.

Les gîtes irréguliers pourront comprendre généralement

Dépôts superficiels.
Amas.
Amas de contact.
Veines isolées.
Stockwercks.
Disséminations de minerai.

Les gîtes réguliers seront :

Couches métallifères.
Filons-couches.
Filons-fentes et vrais filons.

Gîtes irréguliers.

Dépôts superficiels. — Ces dépôts ont eu et ont encore une grande importance par suite des quantités d'or que, depuis les temps les plus éloignés, on a extrait de quelques-uns d'entre eux sur bien des points de la terre.

Quelquefois ils constituent des amas de minerai de fer, plus ou moins étendus, comme le minerai des marais, qui se forme, de nos jours encore, sous l'influence de circonstances particulières.

Généralement, les dépôts superficiels, dans lesquels on exploite l'or, le platine et les pierres précieuses, sont des alluvions plus ou moins anciennes, des *drifts*.

Ces alluvions proviennent de l'érosion des montagnes ou des falaises désagrégées par l'action lente, séculaire et continue des agents atmosphériques ou des eaux de l'Océan. Sur le sol émergé, les produits de cette désagrégation sont entraînés par les eaux torrentielles et pluviales vers le fond des vallées ou sur les rivages de la mer, et ils constituent des dépôts plus ou moins vastes, plus ou moins étendus, qui peuvent être remaniés par les vagues ou qui remplissent les lits des anciennes rivières ou des rivières actuelles.

Ces sortes de dépôts, par leurs formes et leurs allures, quand ils renferment des substances métalliques, doivent être naturellement compris dans les gîtes irréguliers.

Le vaste dépôt aurifère découvert pour la première fois en Californie a été jugé comme appartenant au lit d'anciens cours d'eaux que recouvrirent, avec le temps et en certains points, des couches plus récentes de graviers et d'argiles. Ce dépôt a été estimé à une longueur de plus de 60 kilomètres, et on évaluait à plus de 125 millions de francs la valeur de l'or que l'on en a extrait de 1849 à 1866.

Dans ce dépôt, comme dans tous les autres de même origine, il s'est

fait un travail mécanique, sous l'influence de la pesanteur et de la force des courants, qui a eu pour objet de concentrer en certains points, dans certaines anfractuosités, les matières les plus lourdes, disséminées, auparavant, dans la roche même des montagnes.

C'est ainsi que ces matières, dont on n'aurait pas pu, très-souvent, tenter l'exploitation, dans leur position originaire, ont pu ensuite être recueillies avec avantage.

Les sables de la Californie proviennent très-probablement du démantellement de nombreux filons quartzeux aurifères dans le progrès des dénudations séculaires.

En Australie, des dépôts analogues paraissent se rapporter à une époque géologique beaucoup plus ancienne que pour ceux de la Californie, et on les poursuit souterrainement à des profondeurs assez grandes.

Les sables aurifères forment des dépôts très-étendus sur le revers oriental de la chaîne de l'Oural, dans les gouvernements russes, de Perm et d'Orenbourg.

C'est dans des sables analogues que se trouvent les diamants de l'Afrique et de l'Asie et la poudre d'or que le commerce y recueille.

L'oxyde d'étain de Banca, dans les îles de la Sonde, provient d'une même origine.

Des exploitations du même genre ont été pratiquées, pendant de longues années, en Angleterre, dans les vallées du Cornouailles, sur des sables stannifères. Les Gaulois exploitaient l'or et l'étain dans les sables de la Bretagne et du Limousin, l'or dans nos principales rivières ou dans les alluvions que l'on voit dans la vallée de l'Ariége (*Aurigera*), au pied des Pyrénées. Enfin, sur les côtes de Bretagne, à Piriac et à Penestin, on peut voir les sables granitiques remaniés par les flots de la mer et renfermant des quantités appréciables d'oxyde d'étain provenant de l'érosion des côtes.

Amas. — Les minerais se présentent en amas lorsqu'on les trouve sous formes de masses plus ou moins régulièrement globulaires ou lenticulaires, plus ou moins accompagnées de gangues. Quelquefois ils se trouvent par *nids* et par *rognons*, comme le jaune dans l'œuf, suivant l'expression de Délius, complétement isolés, n'ayant de liaison ni entre eux ni avec les gisements métalliques qui peuvent exister dans les environs.

La masse cuprifère d'Agordo, en Vénétie, est un immense amas dont on connaît aujourd'hui toutes les dimensions, et on peut prévoir la fin des travaux dont elle est l'objet.

Le dépôt de pyrite de fer, bordé d'une zone cuivreuse, de Falhun, Suède, est encore un amas de dimensions considérables.

Le manganèse de *Germ*, Hautes-Pyrénées, en France, constitue des amas importants dans les couches du terrain dévonien.

Amas de contact. — Sous ce nom, on désigne ces amas plus ou moins métallifères, situés entre deux terrains de nature différente et paraissant avoir des formes définies et limitées. C'est ainsi que sont quelques gites calaminaires de la Belgique, qui se trouvent entre le terrain condrusien et le terrain houiller, et un grand nombre de masses ferrugineuses connues, comme quelques-unes de celles que l'on exploite aujourd'hui dans les Pyrénées orientales, au pied du Canigou, situées au contact des granites.

Veines isolées (*segregated veins*). — On peut considérer comme appartenant aux gîtes irréguliers certaines veines ou fissures qui recoupent et traversent les couches stratifiées, et plus souvent les roches massives, ou suivent les stratifications au milieu des couches qui les renferment, mais sur des étendues limitées. Il en est qui ont une très-grande importance, mais on peut prévoir la fin des travaux dont elles sont l'objet.

On en trouve quelquefois de nombreuses, du même genre, aux environs ou aux approches des gîtes réguliers, qui fournissent des quantités importantes et inattendues de minerai; mais, dans ce cas, ces sortes de veines sont, le plus souvent, des diramations de ces derniers gîtes eux-mêmes, diramations dont nous parlerons plus loin.

Stockwercks. — C'est l'ensemble ou la réunion de veines qui se croisent dans un espace plus ou moins étendu. Telles sont les mines d'étain d'Altenberg et de Geyer, en Saxe, qui ont fourni pendant longtemps des quantités importantes de ce métal; telle peut être aussi la forme du gisement argentifère des Chalanches, dans l'Isère.

Les *disséminations minérales* sont de leur nature essentiellement irrégulières; on les trouve, sans aucune espèce de constance, au milieu de terrains divers, et elles ne peuvent être l'objet que d'exploitations purement locales.

Gash-veins. — On peut encore mettre parmi les gîtes irréguliers ce que les Anglais désignent sous le nom de *gash-veins*,

Si l'on se figure une couche presque horizontale renfermant des substances métalliques, mais de telle manière que ces substances ne se trouvent que dans des fissures parallèles traversant l'épaisseur de cette couche, et qui s'arrêtent soit à son toit, soit à son mur, on aura une idée de la forme du gîte.

Ces fissures pourront être ou se montrer dans la couche sur des étendues plus ou moins vastes, se reproduire même dans plusieurs couches comme seraient des calcaires alternant avec des schistes, et leur aspect donnera tout à fait l'idée de crevasses créées pendant le retrait de la roche elle-même; pour cette raison, on pourrait, avec beaucoup plus de justesse, les appeler *fissures de retrait*.

On voit un gisement de cette forme à Castellazzara, en Toscane, où le cinabre remplit et imprègne les crevasses des couches calcaires enclavées dans des schistes bitumineux noirs et pyritifères, et ces crevasses s'arrêtent brusquement au contact des schistes.

Il est possible que la couche triasique, que les anciens ont exploitée très-activement à Notre-Dame de Laval, près d'Alais, dans le Gard, présente une forme générale analogue. Les minerais y consistaient en galène argentifère et diverses espèces de minerais de cuivre, et dans les vestiges qui restent de ces anciens ouvrages, on croit distinguer encore de nombreuses veines presque verticales, ayant l'apparence de filons, qui recoupent la couche et s'arrêtent au terrain houiller sur lequel elle repose.

Le principal caractère de tous les gîtes irréguliers consiste généralement dans l'absence d'indices ou de guide pratique apte à conduire le mineur et à lui indiquer de quel côté il doit se diriger pour retrouver de nouveaux amas ou de nouvelles veines métallifères quand il a épuisé ceux qu'il exploitait.

Ces gîtes pourront être quelquefois extrêmement puissants et donner lieu à des exploitations séculaires; mais, en général, ils n'offrent aucune certitude relativement à leur prolongement dans le sens de la profondeur, et possèdent peu de constance dans leur allure ordinaire. Il faut les suivre de proche en proche et ne les attaquer qu'avec la plus grande circonspection lorsqu'ils ne présentent pas une certaine puissance.

Gîtes réguliers.

Couches. — Les minerais se présentent en *couches* lorsque, massifs, ou par zones, ou disséminés en particules plus ou moins nombreuses, ils existent dans des couches dont ils imprégnent tout ou partie de l'épaisseur; lorsqu'ils forment des couches spéciales métallifères parallèles à la stratification générale des terrains au milieu desquels ils se trouvent; lorsque, enfin, toutes ces couches, quel que soit leur degré de minéralisation, se rapprochent de la position horizontale.

Telles sont les couches de cuivre pyriteux de Mansfeld, en Prusse; les couches de grès vosgien cuprifère de Saint-Avold, Moselle; les puissantes couches de minerai de fer oxfordien des environs de Privas, Ardèche; celles de minerai oolithique de l'est de la France et du Luxembourg, les couches ferrugineuses imprégnées de plomb carbonaté des environs de Carthagène, en Espagne, où les couches plombeuses et blendeuses des Pyrénées.

Ces couches sont soumises à tous les accidents que l'on peut observer dans les terrains stratifiés; elles peuvent être recoupées par des failles qui les brisent et en rejettent les diverses parties, et elles présentent aussi

des cas fréquents d'amincissements et de renflements, ainsi que tous les plissements qui se rencontrent dans les couches non métallifères.

On en voit encore de remarquables exemples dans la Manche, non loin de Cherbourg, à Dielette, où le minerai de fer oligiste ou oxydulé forme une couche presque verticale au milieu des petrosilex qui l'enveloppent et parallèlement à la ligne de jonction du granite; et dans le Maine-et-Loire, où les anciens ont exploité des minerais de fer dans les couches du terrain silurien.

Ce genre de gisements est l'objet d'exploitations considérables; il est fréquent en France, et aux exemples cités plus haut nous pourrions en ajouter plusieurs autres.

Nous nous bornerons à rappeler, comme un fait digne d'attention, que l'on croit y voir, dans le Trias, ou à la base de l'Infra-Lias, un horizon métallifère qui, partant du nord-est de la France, se retrouve dans l'ouest, tourne le plateau central et se prolonge jusque dans le Var.

Cet horizon est jalonné par de nombreuses exploitations anciennes ou modernes de plomb, cuivre et argent, dans les Deux-Sèvres, dans la Haute-Vienne, la Creuse, le Gard, l'Ardèche et dans le Var.

Filons. — On appelle *filon*, en général, une bande de forme grossièrement tabulaire qui coupe, sous un angle plus ou moins rapproché de l'angle droit, les couches des terrains stratifiés, qui traverse les terrains vulcaniens ou plutoniens, et qui renferme des substances minérales différentes de celles qui composent l'ensemble de la roche encaissante.

Le nom de filon s'applique plus particulièrement aux gisements de la forme que nous venons de définir et qui sont métallifères, c'est-à-dire qui renferment dans leur intérieur des substances métalliques plus ou moins disséminées, plus ou moins abondantes.

Tous les filons sont compris entre une simple fissure du sol se rapprochant beaucoup du genre des veines dont nous avons parlé plus haut, et les vrais filons qui se développent quelquefois sur des étendues considérables.

Filons-couches. — Sous ce nom on désigne les filons qui traversant les roches stratifiées, marchent dans le sens de leurs couches parallèlement à leur allure générale, présentant le principal caractère des filons et possédant généralement une forte inclinaison qui se rapproche de la verticale.

On peut considérer comme tel le puissant gisement argentifère de Kongsberg, en Norwége. Ce gisement, que l'on peut suivre à la surface du sol sur l'étendue de plusieurs kilomètres, est formé par un faisceau de bandes quartzeuses qui s'enfoncent presque perpendiculairement dans le sol parallèlement aux couches schisteuses anciennes, au milieu desquelles elles se trouvent.

Ces bandes sont imprégnées, en plus ou moins grandes quantités, de pyrites de fer, de cuivre, de zinc, de galène et d'argent natif.

Elles sont encore l'objet d'une vaste exploitation, et l'argent y a été reconnu à la profondeur de plus de 520 mètres au-dessous de la surface.

On peut encore considérer le puissant gisement de Rammelsberg, au Hartz, comme un filon-couche des plus remarquables. Ce gisement, intercalé entre les couches des schistes argileux dont il suit l'inclinaison, paraît former au milieu d'elles une sorte d'immense amas aplati, lenticulaire, atteignant une puissance de 50 mètres et lançant une diramation qui, après avoir coupé les couches des schistes pendant quelque temps, reprend bientôt son allure ordinaire.

Les amas de fer de la Suède, tels que celui de Dannemora, sont généralement de puissants filons-couches.

Le puissant gisement de pyrite de fer de Sainbel, dans le Rhône, paraît être un filon-couche très-développé, intercalé dans les schistes amphiboliques durcis de cette localité, qui y sont connus sous le nom de *cornes*.

Les filons quartzeux aurifères de la Californie et de l'Australie, situés au milieu des couches paléozoïques, le filon de fer carbonaté de Saint-Georges-d'Hurtières, en Savoie, et la plupart des filons que l'on rencontre dans le massif du Mont-Blanc, appartiennent encore à la même forme de gîte.

Filons de contact. — On donne ce nom aux gisements qui se trouvent entre deux terrains, de nature différente, qui suivent leur ligne de jonction et possèdent à leur contact une apparence tabulaire. Tel paraît être le puissant gisement de Lacroix-aux-Mines, dans les Vosges; quand on le considère dans son ensemble, il paraît suivre la ligne de jonction du gneiss et d'un granite porphyroïde.

Le gîte cuivreux de Rocca-Tedereghi, Toscane, situé entre des roches serpentineuses et les gabbri rossi, est encore un gisement de contact.

Vrais filons. — Ces filons ont une très-grande importance pour le mineur, ainsi que leur nom l'indique; ils représentent de véritables crevasses du sol remplies de substances plus ou moins métallifères. Un de leurs caractères principaux, indépendamment de celui qui se rattache à la nature de leur remplissage ou à la discordance, très-nette entre leur direction et celle des couches qu'ils recoupent, consiste à posséder généralement une grande étendue.

On les trouve dans les roches massives comme dans les roches stratifiées, et ils recoupent souvent les unes et les autres; aussi n'est-il pas rare d'en rencontrer qui, après avoir traversé le granite et ses congénères, passent dans les schistes cristallins, où on peut les suivre encore sur de grandes étendues, et se prolongent au travers des couches sédimentaires.

Tels sont les grands filons quartzeux qui courent au travers des mon-

tagnes du centre ou du midi de la France, autour du plateau central et en Auvergne. On les voit souvent surgir à la surface du sol, au-dessus du terrain encaissant, comme de puissants murs ou de puissantes crêtes rocheuses qui, trop dures, n'ont pu être entamées par les agents atmosphériques dont l'action a désagrégé, dénudé et entraîné les roches plus tendres qui les environnent.

Les vrais filons, comme les grandes veines métallifères ou les filons-couches, sont rarement seuls et isolés. Ils forment, en général, des *faisceaux* composés d'une série de filons ou de filons-couches, courant parallèlement les uns aux autres ou s'entrelaçant, et constituant dans l'ensemble une zone métallifère déterminée qui peut se développer sur de très-grandes étendues.

La Veta-Madre du Mexique, le Comstock-Lode de la Sierra-Nevada, en Californie, les filons de Clausthal, au Hartz, et les fahlbandes de Kongsberg, en Norvége, appartiennent à de pareils faisceaux. En France, nous en avons des exemples remarquables, notamment en Auvergne, sur les montagnes qui dominent le cours de l'Aveyron, dans l'Ardèche et la Loire, et à Pontgibaud, dans le Puy-de-Dôme, etc.

Ces grands filons sont généralement aussi reliés entre eux par des filons plus minces courant dans des directions bien différentes, et qui renferment souvent de grandes concentrations métalliques. On peut vérifier ce fait particulièrement à Vialas, dans la Lozère, où l'exploitation que l'on y fait depuis quatre-vingts ans s'y développe sur des filons concentrés entre deux grands filons quartzeux parallèles, distants d'environ 1,500 mètres.

Failles. Rejets. — On s'écarterait tout à fait de la vérité si l'on croyait que les filons métalliques se poursuivent régulièrement suivant des lignes droites ou largement ondulées. Généralement il n'en est pas ainsi, et ils sont sujets à un grand nombre d'accidents qui peuvent en suspendre momentanément ou en accroître la richesse et qui tiennent constamment en éveil les ingénieurs qui dirigent les travaux dont ils sont l'objet.

Ces accidents se présentent dans toutes les formes de gisements, et se rattachent, le plus souvent, à des causes tout à fait étrangères à leur formation.

Une première grande cause de dérangements ou de changements dans l'allure générale d'un gîte se trouve dans l'existence de ce que l'on appelle des *failles*.

Les failles, comme les vrais filons, ne sont pas autre chose que des crevasses du sol, quelquefois ouvertes près de la surface, ordinairement remplies de matières argileuses stériles ou des débris de la roche encaissante quand elles sont fermées, ou ne laissant que l'indice d'une cassure dans le sol, que la manifestation d'une brisure plus ou moins

rectiligne du terrain qu'elles traversent sur des étendues plus ou moins grandes.

Ces failles, dont l'étude conduit le géologue à lui faire apprécier la nature et l'intensité des oscillations des masses minérales, peuvent encore être considérées comme l'espace compris entre des surfaces mathématiques plus ou moins écartées, le long desquelles ont oscillé ces masses, mises en mouvement sous l'influence des forces plutôt lentes que rapides qui les ont brisées.

On peut immédiatement comprendre les divers changements qui pourront se présenter dans l'allure des gîtes, et particulièrement dans l'allure des filons, par suite de la présence des failles.

On verra d'abord qu'étant coupés par plusieurs failles plus ou moins parallèles, les filons pourront se présenter sous la forme de véritables tronçons ayant chacun leur direction propre.

C'est ce que l'on a pu constater aux mines de Poullaouen, en Bretagne, où le filon principal, qui a été exploité pendant plus d'un siècle d'une manière continue jusqu'en 1865, a montré cinq tronçons séparés par des failles et présentant chacun une direction particulière.

Par suite du mouvement des roches le long des failles, un gisement peut donc être coupé et les deux parties qui le composent peuvent cesser de se correspondre. Dans ce cas, le mineur peut se trouver, de la manière la plus inattendue, quand la surface du sol n'a pas été étudiée ou n'a pas pu l'être à ce point de vue, en présence de roches tout à fait stériles; mais il cherche le prolongement du filon, soit à droite, soit à gauche, d'après les règles de l'art où les études locales, et c'est ce qu'il exprime quand il dit qu'il a rencontré un *rejet* du filon.

Le même fait peut se présenter dans les couches imprégnées de substances métalliques, avec ou sans failles.

Ainsi les couches anciennes qui ont été soumises, avec le temps, à de longues modifications, auxquelles on a donné le nom de *métamorphisme*, et particulièrement les quartzites, possèdent, indépendamment de leurs plans de stratification, des interruptions ou des fissures parallèles, que l'on considère comme des plans de clivage, divisant, pour ainsi dire, ces couches en une succession de rhomboèdres. Lorqu'une de ces couches est métallifère, il n'est pas rare que la richesse métallique s'arrête brusquement en présence d'un de ces plans pour reparaître au delà d'un plan plus éloigné.

D'après ce que nous venons de dire sur les vrais filons, on a compris qu'ils représentent eux-mêmes des crevasses ou des cassures du sol tout à fait analogues aux failles, et qu'ils n'en diffèrent réellement que par la nature des matières qui en constituent le remplissage. Ils ont donc pu être soumis aux influences des mêmes mouvements, et il arrive quelquefois que les roches qui constituent les deux parois d'un filon ne sont pas de même nature.

C'est ce que l'on peut voir au Hartz, où le filon de Lautenthal se trouve encaissé entre des schistes et des calcaires.

Ce filon, bien que situé entre deux terrains de nature différente, ne sera pas considéré, dans le sens propre du mot, comme un gisement de contact. Ce dernier mot se rapporte davantage à ceux de ces gisements situés sur les flancs de masses éruptives ou d'apparence éruptive, ou qui se sont placés entre des terrains différents mais concordants entre eux.

Ces derniers paraissent devoir être rapportés à un autre ordre d'idées et à des phénomènes particuliers.

Renflements. Amincissements. Patte d'oie. — Les gisements réguliers, et particulièrement les filons, ne présentent pas toujours une égale puissance dans l'étendue de leurs parcours au travers des roches. Ils offrent, dans certains points, des épaisseurs croissantes et quelquefois comme la succession de parties renflées ou resserrées. Ce sont là les renflements et les amincissements.

Les uns et les autres résultent très-souvent de l'ondulation naturelle des épontes; mais on les a considérés encore comme résultant du mouvement des roches encaissantes qui a pu mettre en présence les inégalités de leurs surfaces et produire ainsi soit des renflements, soit des amincissements, suivant que se correspondaient les parties concaves ou convexes des épontes.

Cette manière d'être des gîtes concerne particulièrement ceux qui possèdent un toit et un mur bien déterminé; mais, dans les cas fréquents où ces gîtes ne présentent qu'un mur très-net et où l'imprégnation métallique a spécialement lieu dans les roches du toit, dans les cas mêmes où le toit et le mur sont mal déterminés ou n'existent pas, on rencontre encore ces mêmes variations de puissance dans la partie exploitable. Dans ce cas, ces variations se rattachent aux phénomènes divers qui ont concentré les minerais en divers points beaucoup plus qu'à l'influence de forces dynamiques.

Les filons poursuivis par le mineur se divisent aussi en plusieurs branches, et lorsque ces branches vont en s'éloignant et en s'amincissant, elles annoncent souvent la fin du gisement dans le sens de sa direction. C'est ce qu'on exprime quand on dit que le filon fait *patte d'oie*.

Enfin, les amincissements sont quelquefois imperceptibles, mais ils conservent généralement des signes qui font reconnaître s'ils doivent être poursuivis avec l'espoir de conduire sur de nouvelles richesses ou de nouvelles concentrations métalliques, ou si, au contraire, ils doivent être abandonnés.

Ramifications. — Les gisements, et particulièrement les filons, présentent des ramifications plus ou moins nombreuses. Ce sont des veines qui,

partant du filon principal, se détachant soit du toit, soit du mur, s'étendent plus ou moins loin dans l'intérieur des terrains encaissants, soit en s'insinuant entre leurs couches, quand ces terrains sont stratifiés, soit en recoupant ces couches elles-mêmes à la manière des filons proprement dits.

C'est cette aptitude particulière des filons à être accompagnés de rameaux qui a fait, pendant longtemps, considérer les productions métalliques au sein de la terre comme faisant partie d'un arbre dont il fallait s'efforcer de rechercher le tronc.

Très-souvent, de riches ramifications sont à peine visibles au point où elles s'attachent au filon, et c'est pour cette raison qu'il est nécessaire de ne pas négliger l'étude d'aucune des fissures que l'on rencontre sur les parties latérales.

Filons croiseurs. Age des filons. — Souvent un filon est interrompu dans son allure générale par d'autres filons métallifères, porphyriques ou autres, qui agissent sur lui de la même manière que les failles, dont nous venons de parler, et qui y produisent les mêmes effets de dislocation, d'intensité de rejet ou de variations dans la direction.

Ces filons, qui en coupent d'autres et qui ne sont pas des failles, prennent le nom de *filons croiseurs.*

On en voit de nombreux exemples, et notamment dans les mines du Cornouailles, où les filons d'étain sont ainsi recoupés par des filons de cuivre et d'elvan.

On s'est servi de ces faits pour établir l'*âge* relatif de certains filons.

On comprend, en effet, que les filons croiseurs doivent être plus récents que les filons croisés, puisqu'ils représentent des fractures du sol opérées et remplies de substances métallifères postérieurement à la formation et au remplissage de ces derniers.

Ainsi, dans l'exemple du Cornouailles que nous venons de citer, les filons d'étain seront plus anciens que les filons de cuivre.

Des filons de même nature peuvent encore se croiser, et les exemples de ces cas divers ne manquent pas; ils peuvent produire les mêmes effets de rejet les uns sur les autres, et ces faits, indiquant une succession de fractures opérées dans la même contrée dans un temps donné qui peut être très-long, montrent aussi que le phénomène de remplissage de ces diverses fractures s'est prolongé, pour ainsi dire sans discontinuité, dans une longue période de temps, et pendant que les masse au milieu desquelles il s'est opéré étaient soumises à des efforts dyna miques divers.

III

Disposition générale intérieure des gisements. — Salbandes. — Filons rubannés. — Structure argileuse, bréchoïde, amygdaloïde. — Druses. — Affleurements. — Disposition de minerais dans l'intérieur des gîtes.

Généralement, les gisements métallifères, et principalement les filons, présentent dans leur intérieur trois natures de substances, ou, si l'on veut, le remplissage intérieur de ces gîtes comprend trois espèces de substances, qui sont :

Les argiles et substances des salbandes,
Les gangues
Et les matières métalliques.

Ces trois espèces de matières sont loin d'y être toujours mélangées d'une manière confuse, et elles affectent souvent, au contraire, un certain ordre.

Salbandes. — Les argiles particulières dont nous voulons parler ici se trouvent ordinairement placées au toit et au mur du filon ; elles ont une épaisseur plus ou moins grande. Ces argiles prennent le nom de *salbandes* ou *lisières*, ainsi que nous l'avons déjà dit; quelquefois, mais rarement, ces salbandes sont pierreuses ou remplies de fragments plus ou moins anguleux.

Dans certains cas il n'y a qu'une salbande et dans d'autres aussi elles manquent entièrement. Quand cette circonstance se présente, les gangues sont ordinairement adhérentes aux épontes ; mais ce cas ne paraît pas toujours être en rapport avec un haut degré d'abondance de minerai.

Lorsque les salbandes existent, elles sont généralement séparées nettement des gangues ou des substances métalliques. A leur contact, leur surface est souvent lisse et striée comme celle des épontes, et ces caractères se montrent surtout là où les filons sont les mieux déterminés, là où leur minéralisation paraît être la plus grande.

La présence des salbandes argileuses facilite beaucoup le travail du mineur.

Bien des géologues les ont considérées comme des argiles de friction et comme le résultat du frottement des parois du filon les unes contre les autres; mais comme on les trouve dans presque toutes les formes de gisements et que dans un même filon elles paraissent avoir des rapports

très-intimes avec la disposition de la richesse métallique qui s'y trouve concentrée, on peut croire qu'elles sont dues à d'autres causes.

Les gangues et les substances métalliques présentent aussi, dans bien des cas, des associations particulières et elles affectent un certain ordre dans leurs dispositions réciproques. On les voit constituer, dans bien des cas, des zones parallèles aux épontes parfaitement distinctes, et offrant ainsi l'aspect d'un certain rubannement. Ainsi, le filon de Chenelette, dans le Beaujolais, si remarquable au milieu des porphyres qui l'encaissent, montre à son affleurement une succession très-marquée de puissantes bandes de quartz et de baryte sulfatée.

Les pyrites de fer et de cuivre, le spath fluor, la galène, etc., forment aussi très-souvent des bandes plus ou moins épaisses parallèles entre elles. Dans ce cas, les filons reçoivent le nom de *filons rubannés*. Pourtant, ce rubannement qui se présente dans certains filons de l'Allemagne, en Angleterre, en Espagne, etc., n'est pas la forme la plus répandue. Il ne persiste pas toujours dans le filon même où on l'observe, et, en général, autant qu'on peut le croire, et ainsi que l'a dit M. Fournet, il est plutôt une exception qu'une règle.

Lorsqu'il existe dans un filon, on y remarque souvent la répétition des gangues plus ou moins imprégnées de substances métalliques et des minerais massifs, du toit au mur vers le centre.

Ainsi, on pourra voir au centre du filon une bande de quartz plus ou moins imprégnée de minerais de cuivre de chaque côté de laquelle, au toit et au mur, se trouveront deux bandes contiguës et correspondantes de galène massive, qui, elles-mêmes, s'appuieront sur une salbande terreuse.

La répétition des substances qui remplissent les filons est quelquefois beaucoup plus complexe et vraiment remarquable. Tous les ouvrages techniques ont rappelé l'exemple d'un des filons de la Saxe, cité par Wissembach.

De chaque côté du centre du filon, occupé par une bande de chaux carbonatée, on voit se répéter et se correspondre, en allant de l'éponte au centre, des bandes de blende, de quartz, chaux fluatée, blende, spath pesant, pyrites de fer, chaux fluatée, pyrite de fer, chaux fluatée, pyrite de fer.

On en voit aussi des exemples dans les filons de l'Amérique du nord et nous en retrouvons aussi en France dans quelques-uns de ceux de la Haute-Loire.

Le quartz qui remplit ces gisements offre souvent une texture particulière. Cette texture est cristalline, et les axes des cristaux, quelque confus qu'ils soient, tendent à être placés perpendiculairement aux épontes, c'est-à-dire presque horizontalement quand le filon est presque vertical.

Cette tendance est un des caractères remarquables des filons métalli-

fères quartzeux et, indépendamment de la couleur, elle offre un moyen de distinguer le quartz sauvage qui est généralement tout à fait compact. Ce caractère se conserve dans le cas même où la cristallisation est tellement confuse qu'il n'est pas posible de reconnaître la position des axes, car les quartz correspondant aux veines ou aux filons les plus nobles ont généralement une stucture saccharoïde et grenue, un aspect zoné et un faciès particulier qui les distinguent encore du quartz improductif.

Stucture argileuse, bréchoïde, amygdaloïde. — Les roches qui remplissent un gisement peuvent être encore entièrement argileuses comme cela arrive dans les filons de contact ophiolitiques ou dans certains filons granitiques remplis d'argiles feldspathiques ou kaolinisées. Dans ce cas, ordinairement les minerais sont en boules, en rognons, en sables, plus ou moins abondants.

Ailleurs ces roches de remplissage sont formées de fragments soudés entre eux par un ciment métallique qui constitue la richesse minérale du gite. Quand ces fragments sont anguleux, le filon a l'aspect *bréchiforme*. La structure est *amygdaloïde* quand ils sont arrondis.

Druses. — Nous avons vu tout à l'heure que les gangues et particulièrement le quartz présentaient au centre de leurs bandes plus ou moins régulières des lignes sur lesquelles semblent être venues se réunir et se joindre les cristaux de ces substances pour remplir l'espace qu'elles occupent dans le filon. Quelquefois le remplissage n'a pas été parfaitement complet, et on voit alors, au milieu du filon, ou dans quelques-unes de ses parties, des poches généralement remplies d'un liquide sulfureux et tapissées de cristallisations nombreuses sur leurs parois.

Ces poches sont ce que l'on appelle des *druses*. Elles sont d'excellents indices pour le mineur et abondent surtout dans les filons les plus minéralisés. Elles ont des dimensions variables, et de Genssane, dans un travail sur les mines des Vosges, rapporte en avoir trouvé une de 42 pieds de diamètre dans le filon de Saint-Bresson, près de Faucogney.

Ce sont les druses qui fournissent les beaux échantillons cristallisés de la plupart des cabinets de minéralogie.

Affleurements. Leurs caractères. Chapeau de fer. — Les affleurements des gîtes métallifères se présentent sous des formes très-diverses, et il est quelquefois difficile, d'après leur examen, de reconnaître quelle sera la forme du gîte auquel ils appartiennent. Ainsi, dans le cas où l'affleurement se dirige parallèlement aux couches d'un terrain stratifié, on ne pourra guère, sans exécuter des travaux souterrains, reconnaître s'il appartient à un filon proprement dit, ou à un filon couche. S'il ne paraît qu'en un point, il sera bien difficile encore de distinguer comment le gite se comportera dans la profondeur.

Quelquefois les affleurements ne se manifestent au dehors que par quelques colorations vertes pour les gites cuivreux, par quelques indices de gangues à peine discernables pour beaucoup d'autres ; ailleurs ils apparaissent sous forme de crêtes rocheuses, quartzeuses ou barytiques, saillantes au-dessus du sol, comme les grands filons quartzeux de la France, sous l'aspect de colorations ferrugineuses abondantes comme au filon de Huelgoët en Bretagne, ou enfin, sous forme de terres pourries comme les falhbandes de Kongsberg que l'on peut suivre sur de grandes distances.

Souvent les affleurements sont cachés par une couche de terre végétale, et on ne reconnait leur présence qu'à quelques pierres ou à quelques pointements rocheux qui sortent du sol. Ce fut le cas qui se présenta en Californie, quand on y découvrit les riches mines d'argent de Washoë dans la Sierra-Nevada.

Lorsque l'affleurement est visible au dehors, il offre généralement des caractères qui indiquent que le gîte auquel il appartient peut être riche et abondant, même alors qu'il ne présente aucune trace de la substance métallique que l'on suppose exister au-dessous de lui et dans les profondeurs du sol. Un affleurement qui taille d'une manière bien nette le terrain dans lequel il se présente, qui offre des stries sur un mur lisse, qui est formé de quartz carié ou spongieux, de spath ou de baryte sulfatée, cristallisés ou saccharoïdes et zonés, qui présente des lignes argileuses, onctueuses au toucher, plus ou moins puissantes, qui renferme des matières ocracées dans ses cavités ou qui soit composé ou coloré presque entièrement par de l'hydroxyde de fer, offrant dans ce cas ce que l'on appelle le *chapeau de fer* ou l'*Eisener-hut* des Allemands, appartiendra à un gisement qui mérite les plus sérieuses études.

Parmi les affleurements caractéristiques, on doit rappeler ce que les Anglais désignent sous le nom de *gossan*. C'est un mélange de matière quartzeuse avec plus ou moins d'oxyde de fer et renfermant généralement des traces d'autres métaux sous forme d'oxydes, de carbonates ou de sulfures.

Les *gossans* ou les *chapeaux de fer* sont regardés, dans le monde entier, comme une indication des plus favorables pour l'existence de minerais utilement exploitables à quelque profondeur au-dessous de la surface, et les mineurs expérimentés savent juger la valeur probable d'un gisement d'après leur apparence ou leurs caractères.

Les gossans des mines de cuivre du Devonshire, en Angleterre, renfermaient de l'or en quantité quelquefois assez notable.

Les *pacos* et les *colorados* du Chili et du Pérou sont les chapeaux de fer de gisements d'argent. L'argent s'y trouve à l'état natif, de chlorures et de bromures.

Les colorations vertes accusent la présence des mines de cuivre ; mais, en général, les colorations ferrugineuses sont celles qui dominent, quelle

que soit la nature métallique du minerai que renferme le gite dans ses profondeurs. Le vieux mineur de Genssane écrivait que les mines de cuivre étaient généralement recouvertes de minerai de fer à leurs affleurements.

Dans un grand nombre de cas, le peu de puissance de l'affleurement n'est pas un signe négatif.

Ainsi, la célèbre mine de cuivre de Montecatini, en Toscane, qui a produit des quantités considérables de ce métal, se manifeste particulièrement à la surface par une ligne argileuse rosée de quelques millimètres d'épaisseur renfermant quelques noyaux cuivreux de la grosseur d'une lentille, et en la suivant on a rencontré à 80 et 100 mètres plus bas, des amas considérables de minerais et des blocs de cuivre panaché de plus de 100 mètres cubes de volume.

Dans l'Allier, on a découvert dans ces dernières années un gisement cuivreux qui n'apparaissait à la surface du sol que par quelques lignes d'une très-faible épaisseur ou quelques pointements mouchetés de vert ou imprégnés de minerais, et les premiers travaux qui s'y firent, en descendant dans la profondeur, découvrirent un premier amas pouvant produire une grande quantité de cuivre métallique dont rien, à la surface, n'aurait semblé faire prévoir l'existence à un homme inexpert.

Sans multiplier ces exemples, nous dirons que c'est la manière d'être de l'affleurement, et un faciès particulier ou la nature des substances qui le composent, qui revèlent au praticien la richesse souterraine d'un gisement. Mais cette manière d'être, généralement très-complexe, ne peut être appréciée que par les mineurs qui possèdent l'*œil* et le *flair*, flair dont jouissaient les anciens au plus haut degré, qui ne s'acquiert que par une longue expérience et après une longue pratique.

Disposition des minerais dans l'intérieur des gîtes. — On ne connaît pas, jusqu'à présent, de loi qui puisse s'appliquer à la disposition des minerais utilement exploitables dans l'intérieur des gîtes, et ces minerais y affectent souvent les formes les plus capricieuses et les plus inattendues.

Chaque district métallifère présente, pour ainsi dire, des conditions spéciales d'agglomérations métalliques, et ce sont ces conditions que le mineur doit particulièrement étudier dans la localité où il se trouve pour diriger la disposition de ses travaux et de ses recherches ultérieures.

Dans certaines localités les minerais constituent des colonnes plus ou moins larges, de forme irrégulière, plus ou moins inclinées à l'horizon et séparées, dans un même filon, par des espaces qui sont quelquefois entièrement stériles.

En France, quelques-unes des mines des Vosges, abandonnées au-

jourd'hui, ont montré des colonnes métallifères persistantes, sans variation sensible dans leurs caractères, qui avaient 100 et 200 mètres de largeur, et qui ont été poursuivies jusqu'à plus de 400 mètres de profondeur.

C'est en colonnes que se montre le minerai à Poullaouen comme à Pontpéan, en Bretagne, et à Pontgibaud, dans le Puy-de-Dôme.

Cependant ce mot de colonne ne paraît pas être rigoureusement exact et on représenterait probablement mieux la disposition métallique dans ce cas en considérant chacune d'elles comme une vaste lentille aplatie et fortement allongée.

La forme lenticulaire paraît, en effet, beaucoup plus générale ; elle est quelquefois très-nettement accusée, et il n'est pas rare de voir se succéder dans un même filon, et dans le sens de la profondeur, plusieurs de ces lentilles, sans que, dans leur intervalle, rien ne soit modifié dans la forme, ou dans la puissance de ce filon. Quelquefois le filon se resserre fortement dans les parties stériles; mais alors il n'est pas tabulaire, et on peut le considérer comme formé par une succession de renflements.

La mine des Ardillats, dans le Beaujolais (Rhône), a montré dans ces dernières années un exemple remarquable d'amas lenticulaires d'un riche minerai de cuivre argentifère et plombeux.

On y a reconnu, en effet, une puissante concentration métallique très-riche de plus de 2 mètres de puissance à son centre, et paraissant cesser d'exister à environ 80 mètres au-dessous de l'affleurement sans que rien n'ait varié ni dans la forme, ni dans la puissance, ni dans l'aspect du filon. Cette circonstance donne naturellement lieu de croire que l'amas ainsi rencontré dans les parties hautes du gîte n'est pas seul et isolé, et que l'on en trouvera d'autres dans les parties inférieures.

Les colonnes reconnues dans le faisceau des filons de Pontgibaud, qui ont été l'objet de travaux importants à diverses époques, depuis les Romains jusqu'à nos jours, et qui sont exploitées aujourd'hui mieux qu'elles ne l'ont jamais été, s'arrêtent aussi en profondeur à environ 120 mètres au-dessous du sol. Elles paraissent, dans leur ensemble, former une sorte de zone métallifère horizontale; mais les filons ne présentent aucune variation au-dessous d'elle, et l'on a raison de croire à l'existence d'une zone inférieure correspondante qui, peut-être, sera plus riche que la précédente.

En général, le point de rencontre de deux filons de même nature, ainsi que le point de réunion de plusieurs branches de filons, sont des centres d'enrichissement métallique. Les anciens ne l'ignoraient pas et recherchaient avec grand soin les croisements des veines et des filons.

La variation dans l'inclinaison des épontes, du toit ou du mur, paraît encore être, dans quelques cas, liée aux concentrations métalliques. Ainsi, dans quelques localités, ces concentrations abondent dans les re-

plis et en quelque sorte dans les anfractuosités des gîtes irréguliers, et, dans les filons, elles correspondent souvent à une certaine inclinaison.

Les formes lenticulaires se montrent encore dans les filons-couches et dans les couches, et particulièrement dans celles de ces couches qui appartiennent aux terrains anciens, et qui ont subi les actions profondes et énergiques du métamorphisme.

Quelquefois, comme dans le gite métallifère en couches de Melle, dans les Deux-Sèvres, gîte que l'on croit épuisé aujourd'hui, sans que pourtant l'on en soit assuré, les minerais très-riches en argent étaient liés à des argiles ferrugineuses remplissant des poches et des cavités irrégulièrement disposées.

Souvent enfin, les minerais exploitables ne commencent à paraître qu'à une certaine profondeur au-dessous de la surface du sol; c'est là une conséquence des variations de forme de la richesse métallique et de l'influence des actions extérieures; c'est ce qui fait que très-souvent on rencontre, au voisinage des filons connus, d'autres riches concentrations dont la manifestation pouvait être ignorée au dehors. Au Hartz, on savait que, « bien que les indices des filons métallifères se montrent souvent au jour, ils ne produisent de minerai suivi et abondant qu'à 20 ou 30 toises de profondeur[1]. » Délius dit la même chose des filons de l'Autriche, et il paraît attribuer cette manière d'être aux veines principales qui s'étendent beaucoup en profondeur.

Cette observation offre une grande importance; car elle montre que, lorsque les affleurements présentent des caractères sérieux, il ne faut pas se hâter de les abandonner s'ils paraissent improductifs jusqu'à une certaine profondeur.

Ajoutons maintenant que, dans l'intérieur des gites, la dureté croissante des roches est généralement un indice d'appauvrissement. Plus, au contraire, ces roches se rapprochent de l'état cristallin, plus elles tendent vers une facile décomposition et plus elles paraissent s'enrichir.

Enfin, des suintements d'eau par quelques fissures enduites d'argiles onctueuses conduisent quelquefois sur des amas métalliques. Les anciens considéraient la sécheresse d'un filon comme un signe de stérilité.

1. *Voyages métallurgiques*, p. 280.

IV

Puissance des gîtes. — Direction des filons. — Continuité des gîtes en profondeur. — Variation de la richesse métallique et des minerais avec la profondeur. — Variations suivant les niveaux.

Puissance des gîtes. — On peut croire au premier abord que plus un gîte métallique est puissant, plus il est riche. Il n'en est pas toujours ainsi. Les grands filons du Hartz que l'on connaît sur près de 20 kilomètres de longueur, ceux de Clausthal, de Grund, de Zellerfeld et de Lautenthal sont sans doute de puissants filons; le principal filon de la Sierra-Nevada, en Californie, le Comstocklode, peut, d'après M. Richtofen, être comparé aux grands filons de Felsobanya et de Nagibanya en Transylvanie; la Veta Madre comme la Veta de Zacatecas du Mexique atteignent aussi de grandes dimensions : mais tous constituent plutôt d'immenses faisceaux et, en quelque sorte, des traînées de veines métallifères, et, dans toutes ces contrées, on exploite avantageusement des veines ou des filons dont la puissance varie de quelques pouces à quelques pieds.

Aussi, dans ces grands et puissants filons, il est bien rare que les minerais utiles soient repartis dans toute l'épaisseur, et on les y trouve plus spécialement concentrés dans les veines qui les recoupent ou les suivent ou agglomérés autour de certains centres.

Les filons de la Saxe, exploités depuis des siècles, n'ont guère plus de un mètre de puissance, et ceux qui atteignent deux mètres n'y sont pas nombreux. Le filon d'Andreasberg au Hartz, exploité sur une profondeur de 450 mètres et sur environ 200 mètres en direction, n'a pas une épaisseur qui dépasse sensiblement un mètre.

Les filons d'étain du Cornouailles atteignent rarement 2 et 3 mètres de puissance. En Californie, comme en Australie, la richesse aurifère est concentrée dans les veines les plus étroites de moins de un mètre, et dans la première de ces deux contrées, le grand filon quartzeux qui traverse les comtés de Tuolumne, Calaveras et Amador, quoique riche en quelques points, n'est pas celui qui a fourni le plus d'or.

Au Chili, les riches filons cuivreux ou argentifères n'ont souvent pas plus de 0,80 à 1 mètre, et on a pu voir, au milieu des plus riches gisements, un large filon parallèle aux filons les plus productifs, situé au centre même d'un faisceau métallifère, avec des gangues de même nature, et qui a toujours été considéré comme stérile.

En France, il existe aussi de puissants filons et particulièrement des filons quartzeux atteignant quelquefois 10, 20, 40 mètres de puissance

et qui se développent sur de très-grandes étendues. Bien peu d'entre eux ont été l'objet de travaux. Les plus importants que j'y connaisse aujourd'hui se trouvent sur le grand filon de Bluech, dans la Lozère, où ils paraissent avoir acquis une grande extension. On peut dire qu'on n'y connaît pas beaucoup ces grands gisements, mais on considère qu'ils s'enrichissent particulièrement aux points ou ils ont été rencontrés par quelques veines latérales. Dans tous les cas, les gisements utiles paraissent nombreux autour d'eux.

L'exploitation de Vialas (Lozère) en est un exemple ; car, depuis 80 ans, elle est particulièrement dirigée sur de nombreux filons, d'une puissance variant de 0,30 à 1,50 et 2 mètres, qui, ainsi que nous l'avons déjà dit, courent entre deux grands filons quartzeux parallèles, distants l'un de de l'autre d'environ 1 500 mètres.

Au point de vue pratique, ces considérations signifient qu'il ne faut pas négliger la recherche des filons ou des gîtes d'une faible épaisseur, qui peuvent donner lieu tout aussi bien, et souvent mieux que les filons très-puissants, à d'importantes exploitations.

Direction des filons. — Dans tous les temps, la direction des filons a été considérée comme un signe que le praticien ne devait pas négliger pour déterminer ceux d'entre eux sur lesquels il fallait de préférence exécuter des travaux, ceux enfin qui promettent les plus grandes richesses dans leurs profondeurs.

Cependant il importe de ne pas y attacher une importance plus grande qu'il ne convient, et particulièrement ne pas chercher à établir des comparaisons ou des analogies entre des gisements de mêmes directions situés à de grandes distances les uns des autres.

En général, dit M. Fournet[1], ce ne sont pas les directions qui doivent être mises en première ligne dans un parallèle entre deux groupes de filons semblables, car elles sont toujours influencées par les circonstances locales et par les actions postérieures qui ont pu changer les alignements primitifs des terrains.... Ce qui doit régler, dit-il, la concordance des formations, ce sont les similitudes de gangues et de minerais, ainsi que les associations avec les roches éruptives.

Délius, savant mineur suédois, disait : « Les veines nobles suivent gé-
« néralement la direction des montagnes, et on sait par expérience que
« s'il se trouve dans une chaîne de montagnes des veines ou des filons
« qui ont une direction contraire, la plus grande partie est stérile.
« Malgré cela, cette règle a des exceptions, parce qu'on trouve quelque-
« fois des veines nobles de toutes directions dans une même montagne.
« Il ne faut donc point avoir la faiblesse de quelques minéralogistes qui
« admettent que les veines de certaines directions et pentes doivent être
« regardées comme les plus riches. »

1. *Essai sur les filons métallifères de l'Aveyron.*

D'après Duhamel[1] « il n'y a qu'une grande expérience qui puisse faire « reconnaître que, dans chaque canton, il y a des directions de filons « plus avantageuses que d'autres, en sorte que les meilleures directions dans un pays pourront être les plus mauvaises dans d'autres. Il « faut donc s'appliquer à distinguer les meilleures directions dans « chaque lieu. L'étude de ces directions n'est pas même indifférente dans « les Stockwercks. »

Dans ces derniers temps, nous avons vu paraître, en France, une théorie qui attache à la direction des filons une importance de premier ordre.

Cette théorie[2], fondée sur des études exclusivement mathématiques, se résumant par ce que l'on appelle la théorie du *réseau pentagonal*, attribue à l'orientation des systèmes de montagnes une influence principale sur la nature et la richesse des gîtes. D'après elle, à l'aide des directions, on pourrait reconnaître *à priori* les parties riches ou les parties stériles d'un filon; enfin « la recherche et l'exploitation des gîtes minéraux, sortant « des tâtonnements de l'expérience, marcheraient avec certitude[3]. »

Nous nous bornons à signaler ici cette théorie qui nous semble perdre toute sa valeur si on veut la généraliser, et nous sommes de ceux qui pensent que, si des lois mathématiques régissent les phénomènes naturels dans leur ensemble, ces lois sont à chaque instant modifiées et troublées par une foule de causes, dans les détails.

C'eût été véritablement une grande conquête que de pouvoir parvenir, à l'aide de données certaines, à reconnaître les richesses souterraines, ou du moins celles d'entre elles qu'on aurait pu attaquer avec avantage. Mais cette conquête n'est malheureusement pas faite, et il faut encore s'en tenir aux études de chaque localité, isolément, et à l'étude des lois que l'expérience y a fait reconnaître pour la distribution de la richesse.

C'est évidemment dans les paroles de Délius et de Duhamel que se trouve pratiquement la vérité, et il faut dire comme Withney[4]: « Il est « très-difficile de juger de la richesse d'un filon. Chaque contrée a ses « caractères, et la même règle ne saurait être appliquée à des endroits « différents. Une longue pratique et un coup d'œil exercé sont les seuls « éléments qui permettent de discerner si un gisement présente des ap« parences favorables, aptes à promettre une exploitation avantageuse. »

Nous ferons remarquer que la théorie dont nous venons de parler se rattache à des considérations d'un ordre très-élevé, et elle semble en réalité avoir beaucoup plus pour objet de rechercher l'âge des filons, en comparant leurs directions à celles des directions des montagnes, que

1. *Géométrie souterraine.*
2. *Stratigraphie de la France.* Exposition de 1867.
3. Moissenet. *Annales des Mines*, 1863.
4. *Metallic Wealth of the United State*, 1854.

de déterminer véritablement leur richesse. L'expérience locale venant à reconnaître quels sont les filons les plus riches dans un pays donné, on peut, à l'aide des enseignements que fournit cette théorie, parvenir à conjecturer à quelle époque géologique il convient d'attribuer le remplissage de ces filons, et ce serait déjà un résultat fort intéressant; mais ce résultat est purement scientifique, il paraît être tout à fait secondaire pour le praticien et il est discutable.

Il y aurait beaucoup de choses à dire au sujet de la direction des filons; mais ce que nous pourrions ajouter sortirait du cadre de notre travail. Nous nous bornerons à rappeler qu'il existe des directions communes à diverses parties du monde, qui semblent établir un parallélisme remarquable entre les principaux gisements des contrées les plus éloignées. Nous retrouvons la direction N.-O. S.-E. au Mexique et en Allemagne. Cette direction s'applique, en France, à la plupart des grands filons quartzeux et à des faisceaux entiers, tels que ceux de l'Aveyron. La direction rapprochée du N.-S. paraît être encore une direction essentiellement métallifère, et nous la voyons en Bretagne, à Poullaouen, à Pontpéan, dans l'Auvergne, à Pontgibaud et sur un grand nombre de points de notre hémisphère; mais autour de ces directions il s'en trouve beaucoup d'autres qui ne sont pas moins riches pour l'exploitant, et qui, probablement, comme les précédentes, sont beaucoup plus en relation avec la nature des substances complexes concentrées dans les fractures du sol ou au sein des couches métamorphisées, qu'avec l'intensité des puissances dynamiques qui ont soulevé les montagnes ou l'époque de ces soulèvements.

Continuité des gîtes en profondeur. — Quand on voit ces variations capricieuses d'allure et de richesse, que l'on peut facilement déduire de tout ce que nous avons dit jusqu'ici sur les formes et la disposition des gisements ou de la richesse métallique qu'ils renferment, on doit naturellement se demander si ces gisements, et particulièrement les filons, ont une continuité indéfinie en profondeur, et si, le minerai étant connu en un point donné, on peut espérer le rencontrer toujours en descendant, abstraction faite des accidents ou des interruptions qu'il peut subir à différents niveaux.

En général, quelques veines de peu d'étendue dans le sens de la direction et les gisements irréguliers aux formes définies peuvent être vidés comme des sacs, sans que rien ne vienne indiquer si on pourra trouver le prolongement de leur richesse dans le sens de la profondeur. Les gîtes en poches et en amas sont généralement dans ce cas. Les gîtes de contact, placés sur les flancs d'une roche éruptive ou d'une roche qui en ait les apparences et les caractères, ou bien entre deux terrains stratifiés situés dans leur position normale, ont été souvent trouvés comme se terminant en coin dans la profondeur. Ils diminuent peu à peu de puissance au

point de se réduire à rien, comme tous les amas lenticulaires dont les limites sont nettement définies.

Dans la plupart de ces cas, la nature de la roche encaissant ces amas, comme la nature des gangues, semblent se modifier en se rapprochant des limites inférieures. Dans la profondeur, les roches prennent l'aspect qu'elles possèdent lorsqu'elles sont éloignées de toute production métallifère; on n'y voit plus les traces d'altération qu'on retrouvait auprès du gîte, et les gangues deviennent dures et sèches.

Très-souvent, cependant, ces amas sont reliés par des lignes d'un caractère particulier qui conduisent sur de nouvelles concentrations plus profondes et même plus puissantes, et tel amas qui paraissait isolé peut être reconnu comme appartenant à un ensemble métallifère en chapelets ou en amas échelonnés. C'est ce que l'on a constaté récemment dans l'Isère, où l'on avait consideré longtemps les minerais de fer comme superficiels se fermant en coins dans la profondeur.

Des caractères analogues se présentent quelquefois dans les filons qui montrent une succession de lentilles métallifères appuyées sur leur mur. Ces lentilles sont souvent séparées par des espaces où il ne reste que la trace du filon, trace qui se réduit souvent à quelques millimètres. Les roches deviennent plus dures, d'aspect moins cristallin et plus sauvage; mais on peut, généralement, suivre soit une ligne argileuse, quelque mince qu'elle soit, qui relie les concentrations métalliques, soit une coloration particulière de la ligne d'inclinaison, qui suffisent pour constater leur présence à différents niveaux ou à des distances diverses et pour justifier les travaux du mineur dans la profondeur ou dans le sens de la direction.

Lorsque ces signes viennent à manquer, la recherche de nouveaux amas se trouve livrée à des hasards qu'il n'est généralement pas prudent d'affronter.

Quant aux véritables filons, la question de continuité en profondeur acquiert une importance de premier ordre. Cette question a été discutée savamment il y a quelques trente ans, en France, par MM. Amédée Burat et Pernollet[1].

Mais, pas plus en Allemagne, où l'on travaille sur les mêmes gîtes depuis des siècles, qu'au Mexique, on ne connaît aucun exemple d'un filon qui soit fermé par le bas. Il est reconnu que les minerais y descendent à de très-grandes profondeurs, et, au point de vue pratique, dans ce genre de gîtes, ce sont beaucoup plus les difficultés de l'extraction et l'accroissement des frais qui limitent l'exploitation, que l'arrêt du filon et l'absence du minerai dans son prolongement. Dans le premier de ces deux pays, et notamment au Hartz, on n'a pas hésité à entreprendre d'immenses galeries d'écoulement dont tout l'avenir est fondé sur la con-

1. *Annales des Mines*. Géologie appliquée.

fiance dans la continuité de la richesse, aux profondeurs de 600, 700 mètres et plus au-dessous des affleurements.

Dans le Cornouailles, les gisements d'étain se poursuivent sans changements apparents jusqu'à plus de 600 mètres au-dessous du sol. En France, et particulièrement dans les Vosges, des filons métallifères ont montré une remarquable persistance dans leur richesse comme dans leur puissance, sans aucune variation, sur des hauteurs de plus de 400 mètres, et au delà de ce niveau les travaux paraissent n'avoir été arrêtés que par l'accroissement des frais et par les difficultés que faisait naître alors l'imperfection des moyens disponibles. La confiance dans la continuité de la richesse en profondeur y était si grande dans le seizième et le dix-huitième siècle, que des galeries d'écoulement furent commencées au-dessous de ces grandes profondeurs, et ces galeries ne sont restées inachevées que par suite de circonstances indépendantes des mines.

Dans la vallée de la Romanche et auprès de Lagrave, dans l'Oysans, sur les flancs escarpés de la montagne, qui forment comme une falaise abrupte au-dessus du torrent, on peut voir un filon descendant sans aucune variation sur une hauteur de plusieurs centaines de mètres, et rien n'indique qu'il doive se modifier à une profondeur beaucoup plus grande.

A Poullaouen, en Bretagne, les travaux ont été poursuivis jusqu'à une profondeur de plus de 200 mètres, sans que les filons aient sensiblement varié. Les colonnes métalliques que l'on y exploitait, qui n'étaient probablement pas autre chose que de longues et larges lentilles aplaties, se rétrécissaient dans la profondeur et étaient peut-être parvenues près de leur limite inférieure; mais le filon ne cessait pas d'exister, et quand les travaux furent suspendus, en 1865, rien ne semblait indiquer que de nouveaux amas ne pussent exister à des profondeurs plus grandes.

Variations de la richesse métallique et des minerais avec la profondeur. — A ce que nous venons de dire nous aurions pu ajouter de nombreux exemples qui montrent que, si l'on peut croire à la cessation des minerais utilement exploitables avec l'accroissement des travaux dans la profondeur, par suite de difficultés croissantes d'extraction, il faut reconnaître que les filons se poursuivent et les minerais avec eux.

Cependant, on a remarqué des variations dans les minerais eux-mêmes, variations qu'il est utile de signaler et qui peuvent exercer une grande influence sur les travaux.

Ces variations se manifestent dans la teneur de certains minerais. Ainsi, les mines de cuivre du Cornouailles, parvenues à une profondeur de plus de 600 mètres, ont vu la teneur de leurs minerais décroître en descendant et se réduire de 12 à 6 pour 100 en cuivre. La mine de cuivre de Cuba a présenté les mêmes faits.

Les gisements argentifères du Pérou qui, près de la surface, tenaient de 30 kilos à 150 grammes d'argent aux 100 kilos, ne contenaient plus

que 40 grammes dans la profondeur. Les mines de la Hongrie, travaillées à de très-grandes profondeurs, ont vu souvent leurs minerais d'argent remplacés par des galènes qui s'apauvrissent elles-mêmes en descendant.

Mais, à côté de ces faits, il en est bien d'autres qui montrent une persistance considérable de la richesse. Telles sont les mines de Kongsberg, où l'argent natif existe à plus de 500 mètres, et les mines de la Saxe et du Hartz. Dans l'un des filons des Vosges, les minerais d'argent n'ont pas offert de variations dans leur nature jusqu'aux profondeurs de 400 mètres. A Pontpéan, en Bretagne, les galènes, qui tenaient environ 25 grammes d'argent, ont rendu 80 au-dessous de 200 mètres de profondeur. L'or lui-même, que l'on trouve si pur près de la surface, dans les affleurements des filons, ne disparaît dans la profondeur que parce qu'il s'y mélange d'une manière intime avec les pyrites de fer. Nous pensons que, relativement aux niveaux que l'on exploite généralement en Europe, et notamment relativement à ceux que l'on peut exploiter en France, on ne saurait établir aujourd'hui, pour l'avenir, aucune règle à l'égard de ces variations. Cette observation est d'autant plus vraie, que l'on remarque des variations de teneur du même genre aux mêmes niveaux, dans les mêmes filons ou dans des filons voisins, et l'on voit des minerais très-pauvres à côté des minerais de même nature plus riches, occupant une position distincte et définie.

Cette question paraît secondaire en France, où les travaux n'ont atteint une profondeur un peu grande que dans quelques points; elle semble se rattacher d'ailleurs à des considérations excessivement complexes qui, autant que je puis le croire, ne sont pas encore suffisamment éclairées.

Il est un autre genre de variations de minerais beaucoup plus nécessaire à connaître : c'est celui dont nous allons parler.

Dans la liste des minerais que l'on rencontre le plus fréquemment dans l'intérieur des filons et qui forment l'objet des exploitations, nous avons vu des minerais sulfurés et des minerais oxydés, tels que des oxydes proprement dits et des carbonates, ainsi que des métaux natifs, tels que l'or et l'argent.

Ces diverses natures de substances ne se trouvent généralement pas à tous les niveaux des gisements.

On peut considérer comme règle, qui n'est pourtant pas sans exception, que les métaux natifs et les oxydes se trouvent, le plus souvent, à la partie la plus haute des gisements, près de la surface, et que, dans la profondeur, ils sont transformés et passent aux carbonates et, plus généralement, aux sulfures.

Ainsi, le gîte ferrugineux si puissant de Rancié, que l'on exploite depuis des siècles dans l'Ariége, formé particulièrement d'oxydes de fer, paraît se transformer dans la profondeur en carbonates. Un grand nombre de filons de cuivre apparaissent à la surface comme autant de

filons d'oxyde de fer que, souvent, l'industrie sidérurgique ne peut utiliser à cause de la mauvaise qualité du fer que l'on en obtiendrait. A des profondeurs de 25, 30 et 60 mètres, comme dans le Devonshire, le Cornouailles et l'Espagne, on voit ces oxydes disparaître peu à peu ou tout à coup, et être remplacés ou par des carbonates, plus ou moins imprégnés de sulfure de cuivre, ou par de riches amas de sulfure de ce dernier métal.

Le célèbre gîte de Framont, Vosges, après avoir fourni de grandes quantités d'excellent minerai de fer oxydé, s'est transformé, dans la profondeur, en gîte pyriteux qu'on a exploité pour la fabrication de l'acide sulfurique, et, à mesure qu'on descend, on le voit tendre de plus en plus à se changer en mine de pyrite de cuivre.

Les mines de fer des environs d'Alaïs, dans le Gard, recouvrent des minerais sulfurés pyriteux, plombeux ou blendeux.

La plupart des gisements de fer hydraté de la Belgique, et ceux des environs de Maubeuge, paraissent devoir être, d'après M. Delanoue, les chapeaux de carbonates métalliques qui ne seraient eux-mêmes que les têtes de filons inférieurs de blende et de galène.

C'est cette même action, d'où sont résultées ces transformations, qui a probablement produit près de la surface des gisements et dans leurs affleurements la présence de chlorures, d'iodures, de phosphates ou de métaux natifs, tels que l'argent et l'or pur sans association avec aucun sulfure.

Dans le district de Copiapo, du Chili, on a extrait des quantités considérables de minerais d'argent chloro-bromuré et d'argent natif près de la surface, et, en descendant dans la profondeur, ces minerais se sont transformés en sulfures, en cuivres gris argentifères d'abord, et, plus bas, en cuivre pyriteux.

A Huelgoët, en Bretagne, on a exploité pendant longtemps des terres rouges argentifères analogues aux pacos du Pérou ou aux colorados du Chili, et on les a vues se perdre dans la profondeur, aux environs de 100 mètres, et être remplacées par la galène, qui occupait aussi autour d'elles des positions à différents niveaux et probablement là où n'avaient pu s'exer cer les actions qui ontproduit ces différences.

Dans la mine de Chessy, Rhône, c'est dans des parties particulières du gisement que l'on trouva, vers 1810, des concentrations de minerais de cuivre oxydulé ou de cuivre carbonaté qui se rapportaient au gîte principal, particulièrement composé de pyrites de fer et de pyrites de cuivre.

Ajoutons que le *chapeau de fer*, le *gossan* des Anglais, l'*Eisener-hut* des Allemands, qui souvent ont été exploités pour fer dans ces divers pays, sont considérés comme un excellent signe de l'existence de gîtes métalliques, généralement sulfurés dans la profondeur.

Sans aller plus loin, ces citations nous semblent démontrer que le mineur doit attacher la plus grande importance à l'étude des filons fer-

rugineux en général et particulièrement de ceux dont les minerais ne peuvent pas être utilisés pour la fabrication du fer, et quand il rencontrera des oxydes à la surface il devra s'attendre à rencontrer des sulfures au-dessous, ou les pyrites que les anciens considéraient comme l'un des minéralisateurs les plus essentiels[1].

Ces transformations dont nous venons de parler, qui nous montrent des substances diverses se modifiant dans leur composition, de la surface vers la profondeur, ne sont pas les seules que l'on ait observées.

On a reconnu des changements complets de minerai, tels que ceux du fer au cuivre que nous venons de citer, se répétant à l'égard de beaucoup d'autres substances.

En France, on a constaté sur un grand nombre de points et particulièrement dans la Haute-Loire, où se trouvent de nombreuses exploitations de baryte, que cette gangue tendait à disparaître en descendant et à être remplacée par le quartz imprégné plus ou moins abondamment de minerais de plomb argentifères.

En Allemagne et en Amérique, des mines d'étain ont vu leurs minerais remplacés dans la profondeur par des minerais d'argent ou de cuivre[2].

On comprend alors, ainsi que l'avait pensé M. Lieber[3], que les dénudations géologiques qui se sont exercées inégalement, et ont enlevé des portions de terrain considérables à la surface du sol, ont pu détruire les parties les plus élevées de certains filons d'une manière inégale, et montrer, en dernière analyse, des gisements de nature différente, qui pourtant appartiendraient à la même origine et aux mêmes éléments.

D'après M. Lieber, dans la *Carolina*, les filons aurifères, de plomb et de cuivre, appartenaient à des gîtes qui, avant les dénudations, tenaient dans leurs parties les plus élevées l'or, au-dessous le plomb, et le cuivre dans les parties les plus profondes.

Cet aperçu théorique est discutable, et on lui a en effet opposé la présence de l'or à de très-grandes profondeurs; mais M. Von Cotta cite des mines aurifères des Alpes qui se retrouvent à de très-grandes hauteurs et dont les prolongements ne paraissent pas exister au niveau des vallées.

Quoi qu'il en soit de cette théorie, on ne saurait méconnaître que les dénudations puissantes qui, dans beaucoup de points, ont inégalement altéré la forme extérieure du sol, ont pu permettre qu'un même filon présentât des apparences diverses à la surface et sur l'étendue de son parcours.

1. Henckel, *Pyritologie.*
2. Cotta.
3. Cotta.

V

Rapport des gîtes métallifères avec les roches éruptives. — Rapport des gîtes avec les roches encaissantes.

Les substances métalliques sont à peu près répandues à tous les niveaux dans l'écorce terrestre et dans toutes les roches de la nature; on en trouve dans les eaux de la mer et dans les eaux thermales actuelles; mais celles de ces substances, à l'exception du fer, qui doivent plus essentiellement attirer l'attention du mineur et qui nécessitent des conditions particulières de quantités et de concentrations existent généralement dans les terrains les plus anciens.

Les granites, les gneiss, les micaschistes, les terrains siluriens et dévoniens, qui occupent la position la plus basse dans l'échelle géologique, renferment les minerais, autres que les minerais de fer, les plus abondants, et les gisements de ces minerais paraissent offrir dans ces terrains une plus grande continuité que dans les autres.

Ceci n'est pas rigoureusement vrai, puisque l'on connaît des gisements fort riches et fort étendus en Hongrie, en Algérie et ailleurs, que l'on croit exister dans les terrains tertiaires; mais, en général, le nombre de ces gisements paraît être infiniment plus grand dans les terrains anciens.

Les contrées où on les trouve paraissent encore être celles où les actions volcaniques de tous les âges se sont manifestées et où se présentent les roches éruptives les plus nombreuses.

Les ramifications méridionales des Karpathes sont infiniment plus riches que les ramifications septentrionales, et nous voyons dans les premières des granites, des syénites et des porphyres, qui, s'ils existent dans les secondes, y sont recouverts par des dépôts qui les cachent aux yeux des observateurs.

Les gisements argentifères de Charnacillo, au Chili, sont associés à des porphyres et à des greenstones; ils sont principalement placés dans des couches métamorphisées, c'est-à-dire dans des couches dont l'aspect ne ressemble plus à leur aspect originaire et qui doivent très-probablement les changements qu'elles ont subis au voisinage de ces roches.

Les gisements métallifères du Beaujolais, dans le département du Rhône, sont en rapport intime de position avec un puissant développement porphyrique.

Des porphyres quartzifères et des eurites se rattachent aux nombreux gisements de l'Aveyron.

Certains gîtes des Vosges traversent des roches devoniennes métamor-

phisées, que l'on a considérées longtemps comme des porphyres auxquels on a donné le nom de porphyres bruns, et tout autour d'eux on voit des mélaphyres et des syénites très-développés.

Les gîtes métallifères qui jalonnent une longue faille sur laquelle se trouve la mine d'Agordo, en Vénétie, sont liés, d'après M. l'ingénieur Hatton, à une éruption porphyrique.

En Toscane comme au Canada, comme à Cuba et en une foule d'autres points de notre hémisphère, les minerais de cuivre sont dans un rapport si intime avec des greenstones, des roches amphiboliques ou ophiolitiques, qu'ils semblent quelquefois en faire partie intégrante.

En Amérique, en Espagne, etc., partout enfin où abondent le plus les substances métalliques proprement dites, on reconnaît la présence voisine de roches plutoniques plus ou moins nombreuses et d'âge géologique plus ou moins récent.

D'après les idées admises, les roches porphyriques paraissent si directement liées avec les productions métalliques, que l'un de ces porphyres a reçu le nom de porphyre métallifère.

Ces rapports des roches éruptives avec les métaux n'avaient échappé ni aux savants ni aux mineurs.

Dès 1834, M. Fournet, dans ses *Etudes sur les dépôts métallifères*, en faisait mention, et il montrait que le docteur Boué fut le premier à les indiquer d'une manière générale.

Necker, frappé par des rapprochements nombreux, rechercha aussi s'il n'y avait pas, auprès de chaque gisement métallique connu, des roches non stratifiées, et, dans le cas contraire, s'il n'y aurait pas des faits, tirés de la constitution géologique de la contrée, qui mèneraient à conclure que des roches de cette nature peuvent s'étendre sous le district métallifère.

Les savantes études de M. Élie de Beaumont sur les émanations métallifères ont établi aussi « la relation impossible à méconnaître entre la nature des filons et la nature des roches éruptives dans le voisinage desquelles ils se trouvent et avec lesquelles ils sont en connexion; » et M. Fournet, que nous venons de citer, a recherché, dans un remarquable travail sur les mines de l'Aveyron, quelles sont celles de ces mines qui se rapportent aux éruptions porphyriques ou serpentineuses des environs.

Enfin, d'après les nombreuses observations déjà faites, d'après la disposition des gisements et leur aptitude apparente à produire telle ou telle substance minérale utile en plus grande abondance, quand, dans leur voisinage, existe telle ou telle roche éruptive, on pourrait presque espérer d'arriver à une classification méthodique de ces substances ou de leurs gisements liés à une classification pareille de ces roches. En un mot, on pourrait espérer de parvenir à reconnaître à quelle roche éruptive se rapporte particulièrement une substance métallique donnée.

Cependant cette idée, qui semble soutenue par un grand nombre de faits, n'est pas reconnue par tout le monde.

On comprend les discordances d'opinion à cet égard, car la formation des roches éruptives et le mode de production des substances minérales sont encore environnés de bien des mystères ; mais il est une chose que le praticien ne saurait méconnaître, c'est celle sur laquelle nous venons d'insister, c'est-à-dire les rapports de voisinage entre ces substances et ces roches dans les lieux où l'industrie minérale métallique offre la plus grande activité.

En s'appuyant sur les faits connus, lorsqu'il trouvera un gisement dont les caractères pourront laisser dans son esprit quelque doute, il pourra puiser une certaine confiance dans ses efforts s'il reconnaît dans le voisinage de ses travaux la présence d'une de ces roches non stratifiées qui, dans des cas analogues et sur d'autres points de la terre, se retrouvent auprès de la substance qu'il recherche.

Rapport des gîtes avec les roches encaissantes. — D'après ce que l'on peut déduire de ce que nous avons écrit jusqu'à présent et sans entrer dans de plus grands détails qu'on retrouvera dans les ouvrages spéciaux sur la question, il sera facile de reconnaître que la richesse métallique dans l'intérieur d'un gisement peut subir un grand nombre de modifications ou de changements inattendus. La forme qu'elle affecte est généralement irrégulière, et l'abondance plus ou moins grande des minerais correspond à des circonstances particulières qui paraissent se rattacher surtout au mode de groupement des gîtes et en quelque sorte à leur manière d'être dans leur association au milieu des terrains divers qu'ils traversent.

Ces circonstances ne sont pas les seules, et un grand nombre de faits semblent démontrer encore que la nature de la roche encaissante a exercé une certaine influence sur la richesse minérale.

Au Lac supérieur, les filons de cuivre traversent un trapp amygdaloïde, un trapp cristallin ou greenstone et un conglomérat. D'après M. Rivot, ces filons sont très-riches dans l'amygdaloïde, très-minces et improductifs dans le greenstone, et, dans le conglomérat, le cuivre est généralement remplacé par des calcaires et de la calamine. Il n'en est peut-être pas toujours ainsi rigoureusement parlant, mais la différence de richesse du minerai en passant d'une roche à l'autre a été constatée. Cette différence a été signalée aussi, dans la même localité, aux mines de Kewenaw-Point, où l'on n'a trouvé que rarement, dans le conglomérat, des masses de cuivre natif ou quelques indices de cuivre oxydulé noir[1].

En France, à Huelgoët, le filon argentifère recoupe des porphyres, des

1. Withney.

roches vertes amphiboliques, des grauwackes et des schistes. On y a remarqué que ces deux dernières roches exerçaient sur la richesse une influence très-défavorable.

A Kongsberg, les fahlbandes sont recoupées par des filons contenant des minerais d'argent, mais ils ne sont argentifères qu'à leur point d'intersection avec les fahlbandes.

A Brünsdorf, près de Freiberg, les veines de la formation quartzeuse sont généralement pauvres dans les schistes micacés et riches dans des schistes graphitiques qui leur sont subordonnés[1].

Dans le Cumberland, en Angleterre, les filons de plomb traversent le calcaire carbonifère avec des alternances de grès et de schistes argileux. Les filons y sont productifs dans le calcaire et stériles dans les autres roches. Dans le Derbishyre, des filons de plomb traversent le calcaire carbonifère et des trapps, qui prennent le nom de *toadstone*. Ils sont riches dans le calcaire et pauvres et divisés dans le trapp.

En France et dans la Lozère, on peut remarquer que les filons de plomb argentifère deviennent plus pauvres en argent dans les granites que dans les micaschistes.

D'après Fox, « les filons du Cornouailles sont très-modifiés par la nature de la roche qu'ils traversent, et ils changent souvent en passant d'une roche à une autre. Quelques-uns d'entre eux, très-riches dans le granite, sont devenus improductifs dans le killas, et *vice versa*. La même observation peut s'appliquer aux killas relativement à l'elvan ou porphyre granitoïde.

Quelquefois, dans la même veine, le granite contiendra du cuivre et le killas de l'étain et *vice versa*. Fox attribue ces divers changements à des influences électriques.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ces considérations générales relatives aux productions métalliques, et quoique tout ce que nous ayons dit soit bien incomplet, nous avons fait assez de citations et fourni assez de détails pour montrer combien les gîtes métallifères sont complexes dans leurs formes comme dans les dispositions des richesses qu'ils renferment et pour faire voir combien l'exploitation d'un district ou d'un même filon exige d'attentions et de soins; c'était là le but que nous nous proposions d'atteindre.

1. Von Cotta.

VI

Théorie des gîtes métallifères. — Agricola. — Bernard Palissy. — Descartes. — Sténon. — Henckel. — Les Encyclopédistes. — Délius. — Werner. — Lasius. — Lamétherie. — Breislack. — De Genssane. — Torbern-Bergman. — Paoli. — Fournet. — De Bouchepорn. — Élie de Beaumont. — Daubrée. — Von Cotta. — Résumé.

Théories des gîtes métallifères. — Nous ne saurions donner ici qu'un aperçu très-rapide des idées théoriques relatives à la formation des dépôts métallifères, car ces théories touchent, en réalité, bien peu l'industrie; mais il est nécessaire de montrer quel a pu être, à cet égard, le mouvement des idées.

Aucune limite n'arrête l'esprit quand il cherche à expliquer les phénomènes bien mystérieux encore qui ont présidé à la distribution des substances minérales utiles au sein de l'écorce terrestre, tandis que les forces de l'homme sont bientôt épuisées quand il veut sonder les profondeurs de cette écorce, et, d'un autre côté, les métaux que nous extrayons du sol, tels que le plomb, le cuivre, l'or, l'argent, etc., qui satisfont à nos besoins, sont bien peu de chose, en quantité, si nous les comparons à la grandeur des montagnes d'où ils proviennent.

Un filon de 2,000 mètres de longueur et de 1 mètre de puissance pourra suffire, pour alimenter une exploitation productive pendant bien longtemps en ne pénétrant que jusqu'à 400 mètres de profondeur, et le volume de 800,000 mètres cubes qu'il occupe n'atteindra souvent pas la dix millième partie de la montagne qui le renferme, entre les mêmes dimensions.

Il est, enfin, un grand nombre de veines métalliques qui suffisent à un long travail et qui, réellement, deviennent microscopiques et disparaissent devant la grandeur des proéminences ou des masses qui les recèlent.

La théorie peut donc donner libre carrière à son imagination sans nuire à aucun intérêt; mais la pratique, soumise aux exigences et aux nécessités bornées d'un écu, ne peut se livrer aux spéculations de l'esprit. Elle doit tenir un très-grand compte de la théorie, mais nous croyons qu'il serait dangereux pour elle de s'attacher à aucun système et de s'en servir autrement que comme d'un flambeau qui n'éclaire pas encore toutes les sinuosités du chemin.

Tout ce que nous avons dit a dû montrer que l'art des mines est tout un art d'observations longues, minutieuses et patientes, et, afin de ne pas compromettre les intérêts qu'il représente, le praticien fera sagement de s'en tenir aux faits matériels qu'il constate dans le progrès des travaux

qu'il dirige et de fixer sa conduite ultérieure d'après l'étude attentive de ces faits, qu'il doit suivre pas à pas et de proche en proche.

C'est ce que faisaient les anciens, qui ont reconnu avec une admirable sagacité et exploité presque tous les gisements métallifères de la France, dans des temps où la géologie n'existait pas, et lorsqu'ils ne connaissaient que la théorie d'Aristote, qui attribuait au froid et à la congélation la concentration des métaux[1].

Quand on jette les yeux dans les ouvrages anciens, jusque vers la fin du siècle dernier, pour tâcher de se rendre compte de la manière dont leurs auteurs envisageaient les productions métallifères et la formation des substances métalliques dans le sein de la terre, on est véritablement pris de vertige tant ce qu'on y lit ressemble peu à ce que nous lisons aujourd'hui.

C'est qu'en effet, les grands progrès de la chimie et de la géologie, comme toutes ces grandes œuvres qui animent la civilisation actuelle et la font briller d'un grand éclat, n'ont été réalisés que dans le cours du dix-huitième et du dix-neuvième siècle, et tous ces savants si laborieux, si respectables, dont les recherches ont rendu tant de services, devaient forcément confondre une foule de faits qui n'ont pu être éclaircis que par les découvertes ultérieures.

Lavoisier trouve la composition de l'air, et cette immense découverte projette la lumière la plus vive sur une foule de phénomènes naturels; désormais le phlogistique de Stahl, la chaleur combinée de Berthollet, le principe inflammable de Torbern Bergman, mots employés par des hommes de génie pour exprimer ce qu'ils entrevoyaient sans pouvoir l'expliquer, disparaîtront du langage scientifique. Les discussions de Stahl luttant contre l'opinion de ceux qui soutenaient que si les hommes tiraient des métaux imparfaits et ignobles du sein de la terre, c'est qu'ils n'avaient pas la patience d'attendre que leur coction fut achevée, ne se renouvelleront plus.

On n'entendra plus parler de chaux de fer, de plomb, de cuivre, ni de sucs lapidifiques, ni de substance vitriolique qui soit la mère des métaux, ni de transmutation des métaux.

Les étoiles fixes ne cesseront point de briller au firmament comme des gemmes, le soleil représentera l'éclat de l'or et la lune la blancheur de l'argent, et l'on ne pensera plus, comme au seizième siècle, à l'influence des astres sur la génération de ces corps.

Désormais on saura expliquer ce fait d'une immense portée, l'oxydation des substances minérales; on connaîtra la cause du feu, et les classifications méthodiques, comme l'étude des phénomènes naturels, entreront dans la voie rationnelle qu'elles poursuivent aujourd'hui.

Il serait superflu d'exposer les théories des philosophes du moyen âge

1. Agricola. delle cose qui sotto terra sono.

et des alchimistes. Il nous suffira de dire que ces théories, le plus souvent bizarres, étaient l'objet d'interminables discussions où trouvaient place, au milieu d'une prolixité infinie, les rêves les plus étranges.

Nous ne considérerons que ce qui a été dit depuis le seizième siècle, et nous ne prendrons dans les nombreux travaux publiés sur la génération des métaux et de leurs gisements que quelques points de repère suffisants pour indiquer le mouvement des idées et les progrès réalisés dans ces connaissances si ardues, si profondes, et qui, en réalité, sont encore aujourd'hui enveloppées de beaucoup d'inconnu.

Agricola, 1550 [1]. — Médecin saxon de grand savoir qui possédait une grande expérience des mines; il fut le premier probablement qui écrivit quelque chose de rationnel en géologie [2].

Il luttait contre les idées de son temps, mais sans cesser de s'en dédétacher entièrement, et il admettait que les filons étaient des fentes ou des crevasses du sol, dont les unes provenaient de la dessiccation des roches, et les autres, et surtout les plus grandes, avaient été creusées par les eaux qui descendaient *de haut en bas* et y portaient tous les éléments propres à la génération des métaux.

Bernard Palissy, 1550 [3]. — Il dit que toutes les mines ont été formées *dans l'eau.*

Descartes, 1644. — Le premier, il avait considéré la terre comme un soleil éteint conservant un foyer de chaleur dans sa partie centrale. Le premier il avait attribué les grandes dislocations de l'écorce terrestre à la contraction de la masse interne. D'après lui, les filons métallifères résultent de ces dislocations, et « ils ont été remplis par des exhalaisons partant *des régions profondes* du globe [4]. »

Sténon, 1669. — Il admet le soulèvement des montagnes sous l'influence des forces souterraines, et il enseignait que les dislocations qui en résultaient avaient dû frayer un passage aux sources des montagnes, à des courants d'air, à des exhalaisons méphitiques, à des produits de combustion, à tous les contenus des filons, tels que les minéraux déposés sur les parois et à l'intérieur des fentes, produits qui sont tous postérieurs aux roches qui les renferment [5].

Henckel, 1725. — Les idées de Sténon, qui se rapprochaient beaucoup de celles que l'on admet aujourd'hui, étaient à peu près perdues en 1725,

1. Della generatione, etc.
2. Fournet. *Études sur les gîtes métallifères.*
3. Discours admirable.
4. Daubrée. *Sur le métamorphisme.*
5. D'Archiac. *Cours de paléontologie.*

quand Henckel publia sa *Pyritologie*. D'après lui, la terre a été un corps mou et poreux ; elle s'est durcie et la sécheresse a produit des fentes. Les tremblements et les secousses de la terre en ont aussi formé dans les rochers. Ces fentes ont été remplies et se remplissent encore de toutes sortes d'eaux, et les exhalaisons intérieures, provenant particulièrement des fermentations, y ont concentré les substances métalliques.

Un peu plus tard, les savants *encyclopédistes* admettaient que la formation des mines, sujette à des modifications continuelles, s'était opérée lentement et qu'il s'en formait de nos jours. Ils repoussaient l'idée d'un foyer en ignition dans le centre de la terre, comme quelques géologues semblent s'en éloigner aujourd'hui, mais ils croyaient au développement de la chaleur dans l'intérieur de la croûte terrestre, et cette chaleur ainsi que l'eau étaient les deux grands agents qui formaient les mines. A l'aide de ces deux agents, les particules métalliques renfermées dans les roches étaient entraînées dans les cavités de la terre, dans les fentes, dans les espaces vides et dans les filons qu'elles remplissaient.

Délius, 1774. — Ce savant mineur, qui produisit un *Traité d'exploitation*, traduit en français, en 1774, par M. Schreiber, considéra les filons et les veines comme étant dus à des fentes analogues à celles qui se font dans une terre humide pendant la dessiccation. Les différentes terres qui composaient les montagnes contenaient aussi la matière propre à former les minéraux. Cette matière, entraînée par les eaux qui filtraient de tous côtés, au travers du roc, avant qu'il ne fût solidifié, se communiquait dans les fentes et ouvertures nouvellement formées.

Ainsi s'opérait le remplissage des filons, et Délius ajoutait qu'il ne se formait plus de mines aujourd'hui. « La nature, disait-il, a fermé son laboratoire. » Comme si les molécules du globe n'étaient pas toujours, aujourd'hui comme dans le passé, dans un état perpétuel de transports et d'échange.

Werner, 1787. — Ce savant professeur de l'école de Freiberg exposa, vers la fin du siècle dernier, des théories géologiques qui eurent un grand retentissement. Il posa les bases d'une classification méthodique rationnelle qui fut généralement admise, émit quelques idées nouvelles; mais tous les principes qu'il enseigna ne furent pas longtemps adoptés et trouvèrent bientôt, même parmi ses élèves, de nombreux contradicteurs. Tel fut, entre autres, le mode de formation des gisements métalliques qu'il concevait.

D'après Werner, tous les terrains qui forment l'écorce du globe se seraient successivement séparés d'un *océan chaotique*: les uns par voie chimique, les autres par voie mécanique.

Le retrait des eaux produisit l'affaissement des montagnes, et par suite de cet affaissement, comme aussi par l'effet des tremblements de terre

où de leur consolidation, les terrains éprouvèrent des ruptures d'où résultèrent des fentes et des cavités de toutes dimensions. « L'eau, en pénétrant dans ces cavités, a incrusté, des différentes matières qu'elle tenait en dissolution, les longues crevasses par lesquelles elle y pénétrait et a donné ainsi naissance aux *filons métallifères.* » Les filons ont été remplis *uniquement par le haut,* et « l'activité intérieure du globe est entièrement méconnue[1]. »

Lasius, 1789. — Il apporta des idées plus larges que celles de Werner et qui se rapprochaient de celles qu'avaient exprimées déjà Descartes et Sténon, en y ajoutant un élément nouveau. Il admettait que les fentes de la terre étaient produites par des dislocations du sol, et que ces fentes ont été remplies par les eaux qui, s'étant imprégnées d'acide carbonique et d'autres agents, ont pu dissoudre les particules terreuses et métalliques qui se trouvaient dans la masse du rocher et les déposer, à l'aide de précipitants, dans les espaces des filons.

Lamétherie, 1797. — Dans sa théorie de la terre, il considère les filons métalliques comme produits par une cristallisation contemporaine de la roche dans laquelle ils se trouvent.

Breislack, 1812. — Il n'admettait pas que tous les filons fussent remplis après coup; il considérait le plus grand nombre des dépôts métalliques comme s'étant formés autour de certains centres et les filons comme ayant été remplis par des matières qui avaient su se choisir, se suivre, s'approcher et s'unir en vertu d'une force particnlière d'affinité et d'attraction. « Les montagnes sont constamment en mouvement, dit-il, et il s'y fait des sécrétions et des excrétions, comme dans les corps organisés une perpétuelle formation destructive et reproductive. »

C'était, à peu de chose près, la théorie qu'avait exprimée le savant mineur de *Genssane* et *Torbern Bergman*, qui, en 1792, regardaient les filons comme les produits de la cristallisation des roches. C'est encore à peu près la théorie qui fut exposée, en Italie, par *Paoli*, dans son ououvrage *Sul moto molecolare*, qui établissait que la plupart des filons étaient dus à une pareille origine.

Jusque vers 1840, les idées théoriques oscillèrent entre les opinions diverses que nous venons d'émettre; mais à cette époque les substances métalliques étaient plus particulièrement considérées comme le résultat de sources ou de sublimations venant du sein de la terre et pénétrant dans l'intérieur de ses crevasses ou comme le résultat d'injections ignées, à la manière des dykes volcaniques que l'on voit sur les parois abruptes de la Somma, au Vésuve.

Ces deux opinions, dont la première rappelait le souvenir des an-

1. Daubrée. *Du métamorphisme.*

ciennes exhalaisons, ont été modifiées; la seconde fut particulièrement soutenue par un savant géologue lyonnais, dont nous ne pouvons passer le nom sous silence, M. Fournet.

Fournet, 1833-1868. — Après Descartes, Sténon, et les encyclopédistes qui avaient entrevu l'action des eaux et des vapeurs souterraines, il fut des premiers à considérer le remplissage des filons comme dû à l'action de sources minérales venant des profondeurs de la terre, et la même théorie était enseignée à l'École des mines par M. Élie de Beaumont. Mais, quelques années plus tard, M. Fournet, ne considérant que le « caractère d'association et par dessus tout la simplicité chimique du remplissage métallique des crevasses du sol, » crut devoir les rapporter plus essentiellement à des injections ignées.

Il défendit cette théorie avec une rare opiniâtreté et fut, pour ainsi dire, le seul à l'accepter et à la défendre.

De Boucheporn, 1844. — Dans ses écrits sur l'histoire de la terre, ce savant ingénieur, après avoir établi les rapports qui existent entre les filons, les failles et les grandes dislocations de l'écorce terrestre auxquelles il attribue une cause toute particulière; après avoir fait remarquer qu'un grand nombre de roches considérées comme ignées, ayant un caractère propre, telles que les ophites, les spilites, les grunsteins, les variolites, les eurites, les porphyres, etc., que toutes les roches, enfin, qui ne sont ni volcaniques ni granitiques, proviennent de l'altération des terrains sédimentaires sous l'influence des actions intérieures et en particulier de celles qu'a dû produire la transformation du granite et du trachyte; après avoir montré les rapports qui, dans son opinion, existent entre ces deux termes éloignés, les granites et la mer actuelle, provenant tous les deux d'une mer originaire contenant à la fois la potasse et la soude, il établit les principes suivants :

Les failles, comme les filons, ont une origine commune : ce sont des fentes.

Les renflements des filons ne peuvent être complétement expliqués, ainsi que l'a pensé Werner, à l'aide du défaut de correspondance que le glissement a pu amener entre les parties saillantes et rentrantes des faces ondulées de fracture.

Les matières des filons ont été formées dans l'eau, sur place et de toutes pièces.

C'est dans la pénétration des vapeurs souterraines, tant volcaniques que granitiques, et, en général, dans leur action de contact avec l'eau ou sa vapeur que l'on peut trouver la véritable théorie des filons.

Ce sont les roches de sédiment elles-mêmes qui ont fourni la plupart des matières caractéristiques des filons. Les roches ignées n'ont fourni que le véhicule, savoir les gaz vaporisateurs, et les métaux des filons

ne sont que la concentration d'une matière auparavant disséminée dans les terrains et surtout dans les plus anciens.

Les filons auront les plus grands rapprochements avec les sources minérales et thermales et ils appartiendront par leur nature aux volcans et aux roches ignées : c'est la distinction qu'a si bien exprimée M. Élie de Beaumont par le mot de « *volcanique à la manière du soufre* » qu'il attribuait aux substances dont la genèse participait tout à la fois et de l'eau et du feu.

Élie de Beaumont, 1847. — Dans un Mémoire *Sur les émanations volcaniques et métallifères*, ce savant géologue fut conduit à résumer une partie des opinions diverses qui s'étaient manifestées depuis longtemps et à exprimer d'une manière plus lucide et plus magistrale qu'on ne l'avait fait jusqu'alors les rapports existants entre les filons métallifères et les sources minérales, ainsi que la formation du plus grand nombre des dépôts métalliques,

Ce Mémoire était précisément écrit peu de temps après que M. Burat, dans ses études *Sur les gîtes métallifères*, avait montré les dispositions des minerais de cuivre de la Toscane au sein des roches ophiolitiques et avait semblé apporter de nouvelles preuves à l'appui de l'idée que les roches éruptives, ou considérées comme telles, avaient pu originairement contenir les métaux qui, plus tard, vinrent remplir leurs interstices, ou les cassures qui, traversant les couches sédimentaires, environnaient ces roches, ou former des dépôts métallifères limités, appliqués sur leurs parois externes.

M. Élie de Beaumont considère :

Que les substances métalliques contenues dans les filons d'incrustation ou concrétionnés proviennent en principe des roches éruptives;

Que les filons ont été les conduits de sources minérales profondes. Leur remplissage a été produit par des dépôts opérés dans les eaux qui circulaient dans les fentes de l'écorce terrestre à l'état liquide ou à l'état de vapeur.

« C'est là, dit M. Élie de Beaumont, une opinion qui est loin d'être nouvelle. »

Daubrée, 1860. — La formation des dépôts métallifères est exprimée d'une manière fort large et qui permet d'embrasser la variété de leurs formes. Leur origine se rattache au phénomène du métamorphisme des roches.

« Les combinaisons métalliques provenant des profondeurs se sont « très-fréquemment accumulées dans les fentes que présentent les ter- « rains et ont formé les filons métallifères.

« Quelquefois aussi ces combinaisons et les divers autres composés « qui les accompagnaient se sont répandus dans les roches, dont elles

« ont pénétré la substance en lui faisant subir des transformations pro-
« fondes.

« Les dépôts métallifères ainsi que les épanchements siliceux qui sil-
« lonnent beaucoup de contrées ne sont que des cas particuliers des
« phénomènes métamorphiques. »

Von Cotta, 1860[1]. — Nous extrayons de la *Revue de géologie* de 1860[2] un résumé des aperçus longuement développés dans un important ouvrage sur les mines.

« 1° Les gîtes métallifères présentent des formes qui sont encore plus variées que celles des autres roches; relativement à leurs formes, ils se distinguent en couches, en filons, en amas, en imprégnations; relativement à leur composition, ils se subdivisent en trois groupes principaux : gîtes stannifères; gîtes complexes caractérisés par un grand nombre de minerais; gîtes ferrifères. Toutefois, il n'existe pas de limite bien tranchée entre ces trois groupes.

« La distribution des gîtes métallifères ne paraît soumise à aucune loi géographique, mais elle est en relation avec certains phénomènes géologiques. Ainsi, les gîtes stannifères se trouvent surtout dans les roches granitiques, ou du moins ils sont en rapport avec elles. Les gîtes aurifères s'observent, le plus souvent, dans les schistes cristallins, dans les roches éruptives ou dans les roches quartzeuses, tandis qu'ils sont très-rares dans le calcaire ou dans la dolomie. Les filons argentifères sont dans les schistes cristallins ou dans les roches argileuses; les minerais de plomb et de zinc qui sont pauvres en argent sont intimement liés aux calcaires dolomitiques. Les gîtes cuprifères s'exploitent souvent dans les roches amphiboliques ou chloritiques, dans le granite ou dans le grès.

« Les minerais de fer sont, de tous, les plus fréquents; ils se montrent dans les conditions géologiques et pétrographiques les plus variées, mais très-souvent on les observe au contact de deux roches différentes.

« 2° La distribution des minerais dans les gîtes métallifères est généralement inégale; elle dépend du niveau et de la puissance du gîte, ainsi que de la roche encaissante et de quelques circonstances encore inconnues.

« 3° L'âge des gîtes métallifères est difficile à fixer; leur composition minéralogique ne permet de tirer aucune conclusion à cet égard. Dans des contrées très-diverses, ils sont très-souvent semblables, bien que formés à des époques très-éloignées; tandis qu'ailleurs ils sont au contraire très-différents, bien qu'appartenant à la même époque.

« 4° Tous les gîtes métallifères offrent une concentration locale des minerais dont les éléments étaient sans doute répandus beaucoup plus

1. Treatise on ore deposit. (Traduction de l'allemand.) New-York.
2. Revue de MM. Delesse et de Lapparent.

uniformément dans la masse de la terre. Pour la plupart d'entre eux, cette concentration paraît avoir eu lieu par des dissolutions aqueuses et pendant de très-longues durées. En outre, les minéraux qui constituent, soit les filons métallifères, soit les amas, soit les imprégnations, se sont généralement formés à l'abri de l'atmosphère, dans l'intérieur de la terre et avec le concours d'une pression et d'une chaleur plus grandes qu'à la surface; par conséquent, les gîtes métallifères ont une origine hydro-plutonique. »

Si, maintenant, nous ajoutons que l'électricité a été aussi considérée comme ayant exercé une grande influence sur l'aggrégation des matières métalliques, sur leur mode d'association et sur l'état dans lequel elles se présentent, on aura une idée générale de presque toutes les théories qui ont été exposées pour expliquer la formation des gisements métallifères depuis Agricola jusqu'à nos jours.

En résumé, nous voyons que ces théories diverses embrassent des idées bien différentes, entre lesquelles elles ont presque toujours oscillé, et qui peuvent se résumer ainsi :

Formation métallifère contemporaine des roches.

Formation métallifère dite de sécrétion latérale, qui suppose les parties métalliques disséminées dans les roches. Les idées relatives à leur séparation ou à leur concentration se rattachent à celles des géologues anciens qui, admettant la cristallisation des roches, entrevoyaient véritablement la théorie du métamorphisme et les modifications profondes qu'il apporte dans leur structure et dans leur composition.

Remplissage des gisements par voie d'infiltration ou de précipités *par en haut ou par en bas.*

Par *sublimation.*

Par *injection.*

Théorie hydrothermale.

La diversité des opinions émises fait comprendre combien le sujet est difficile à traiter, combien il est complexe, et il est probable, ainsi que l'exprime si sagement le professeur Von Cotta, que jamais on ne pourra parvenir à en formuler une qui embrasse la généralité des faits.

Plus on va en avant, plus la science se développe, plus sont grandes les conquêtes qu'elle fait chaque jour dans son vaste domaine, et plus on semble reconnaître que les dépôts métallifères ont pu être produits dans le même temps par des procédés différents.

L'origine des substances qui remplissent ces dépôts est encore bien peu définie; ne sentons-nous pas nous-mêmes tout ce qu'il y a de vague dans ce que nous exprimons, quand nous disons que ces substances proviennent des profondeurs de la terre, et il paraît bien rationnel de les supposer existant uniformément disséminées dans les roches, même au point d'y échapper à toute la délicatesse de nos analyses.

L'idée de sécrétion latérale paraît donc toute naturelle et elle a frappé

depuis longtemps les anciens mineurs; on comprend, en effet, qu'elle peut être appliquée à beaucoup de faits et qu'elle acquiert une grande consistance quand on la rattache au phénomène du métamorphisme dans sa plus puissante extension, c'est-à-dire embrassant tout ce qui se rapporte à la transformation des roches depuis les plus modernes jusqu'aux plus anciennes.

En associant, en effet, l'idée de la dissémination des substances métalliques dans les roches à celle du métamorphisme considéré comme un phénomène qui s'exerce encore aujourd'hui, dans toute l'épaisseur de l'écorce terrestre, sous l'influence des différences de chaleur que déterminent les affinités chimiques, sous l'influence de l'eau qui, comme dans un vaste océan souterrain, circule dans le sein des masses minérales, entre leurs molécules ou dans leurs interstices et dans leur cassures, à l'état liquide, gazeux, sphéroïdal ou surchauffé, ou, enfin, sous l'influence des actions électriques, on arrive à se faire une idée de toute une immense série de faits, accomplis depuis les temps géologiques les plus reculés, et dont un grand nombre ne sont devenus visibles pour nous que par suite des dénudations profondes ou des mouvements de l'écorce terrestre qui les ont mis à notre portée.

Les masses minérales sédimentaires seront d'autant plus transformées que leur origine se rapprochera davantage des temps géologiques primordiaux; leur composition sera toute différente de celle qu'elle a pu être originairement, et leur transformation y sera si complète, que les plans de leurs couches pourront ne plus être les plans sur lesquels se seront groupés leurs dépôts successifs.

Les substances métallifères qu'elles renfermaient, entraînées dans un mouvement moléculaire d'une lenteur infinie, rempliront leurs crevasses en y constituant des filons proprement dits, ou se concentreront suivant certaines lignes en y formant des masses plus ou moins étendues entourées d'une schistosité rocheuse concentrique ou parallèle à leurs formes, et, dans l'un et l'autre cas, elles présenteront des associations diverses, suivant les influences électriques auxquelles elles auront été soumises.

Dans les couches plus récentes, les substances métalliques pourront être concentrées, plus ou moins abondamment, autour de certains points ou dans certaines fissures, ou pénétrer intimement toute l'épaisseur d'une de ces couches.

Enfin, beaucoup de ces concentrations, dans les filons et ailleurs, se feront encore, ainsi que le dit M. Cotta, d'après des lois inconnues; beaucoup d'entre elles seront remaniées et transportées dans les crevasses plus récentes; mais tous les faits qui se rattachent à l'ensemble des phénomènes relatifs à la genèse des productions métalliques dans le sein de la terre, ou à leur passage des unes aux autres, embrassant à la fois des actions métamorphiques et hydrothermales, se relieront en-

semble, sans discontinuité, avec les mêmes liens que l'on observe dans la série continue des terrains sédimentaires.

Nous n'étendrons pas plus loin ces considérations sur les gisements métallifères qui exigeraient de longs développements et pourraient être véritablement l'objet de tout un livre, si on voulait exprimer ce qu'elles réveillent dans l'esprit; ce que nous avons dit suffit pour montrer combien le sujet est difficile et complexe, et combien est grande l'importance de la pratique pour la culture et l'exploitation des productions métalliques.

FRANCE

Coup d'œil sur l'orographie et la géologie de la France.

I

Orographie. — Suivant les auteurs les plus autorisés, la France a 1,064 kilomètres de longueur du N.-O. au S.-E. et 964 du S.-O. au N.-E.

Bassins. — Sans tenir compte du bassin du Rhin, auquel n'appartiennent plus que des parties des départements des Vosges, de la Meurthe, de la Moselle et de la Meuse, on peut la diviser en quatre grands bassins hydrographiques principaux.

1° *Le bassin de la Seine;* 2° *de la Loire;* 3° *de la Garonne;* 4° *du Rhône.*

Chacun de ces grands bassins se subdivise en un certain nombre de bassins secondaires. Le plus étendu en surface est celui de la Loire; il occupe une partie du centre et de l'ouest. La Loire a un parcours de plus de 800 kilomètres de longueur. Vient ensuite, en suivant le degré d'importance, le bassin du Rhône, qui, en y comprenant les petits bassins secondaires de l'Héraut, de l'Aude et du Var, occupe toute la partie est de la France, depuis les Vosges jusqu'aux Alpes maritimes et tout le littoral français de la Méditerranée.

Les autres grands bassins ont moins d'importance en surface. Les principales chaînes de montagnes qui limitent et qui font partie intégrante de ces bassins sont, en commençant par le nord :

Les *Ardennes*, situées entre la Meurthe et la Meuse.

Les *Vosges*, dont la France ne possède plus qu'une partie, se dirigeant N.-S., parallèlement au cours du Rhin, et qui jettent des ramifications étendues en Franche-Comté et en Champagne.

Les ballons, et entre autres le ballon d'Alsace, de 1,244 mètres d'élévation, vont en s'abaissant vers le nord. Ils présentent leurs pentes abruptes du côté de l'est et leurs pentes faibles vers l'ouest.

Autour du bassin de la Seine, on ne voit nulle part de hautes montagnes. A son origine, dans le *Morvan* et *le plateau de Langres*, il atteint à peine l'altitude de 500 mètres. Ses limites ondulées, au sud, dans le Nivernais, l'Orléanais et le Perche, ne peuvent prendre le nom de montagnes; ce sont de simples collines.

Les montagnes du *bassin de la Loire* sont beaucoup plus saillantes que les précédentes; ce fleuve et ses affluents prennent tous naissance vers les sommets du plateau central, sur le revers ouest des montagnes du Charollais, du Lyonnais, du Vivarais,

Dans les monts de la *Margeride,* dans ceux d'*Auvergne.*

Les principaux sommets sont: le *Puy-de-Dôme*, 1,476 mètres; le *mont Dore*, 1,897 mètres; le *mont Lozère*, 1,790 mètres; le *plomb du Cantal*, 1,858 mètres; le *mont Mézenc*, 1,755 mètres. Ces hauts sommets s'abaissent insensiblement en Périgord et en Saintonge; en descendant vers l'Océan, ils se transforment en collines et viennent s'éteindre un peu au nord de l'embouchure de la Gironde.

Le *bassin de la Garonne*, auquel on peut joindre celui de l'Adour, est un des plus riches de France par son climat et la fertilité de son sol. Il est limité au nord par le bassin de la Loire, à l'ouest par l'Océan, à l'est par des montagnes assez élevées et très-accidentées, qui constituent la *chaîne des Corbières*, des *montagnes Noires*, des *monts du Gevaudan* et des *Cévennes*, jusqu'au mont Lozère. Au sud, ce sont les *hautes* et les *basses Pyrénées* qui le limitent.

Ces dernières montagnes, dont la direction moyenne est E.-O., sont coupées à forte pente du côté de la France, et les plaines de la Garonne et de l'Adour viennent butter contre leurs premiers contre-forts.

Dans l'intérieur de cette chaîne, les vallées sont profondément creusées; les cours d'eaux, abondants et alimentés par les névès et les glaciers qui persistent à l'altitude moyenne de 2,800 à 2,900 mètres, y sont généralement à régime torrentiel. A l'exception de ses deux extrémités, près de l'Océan et près de la Méditerranée, elle n'offre pas de créneaux ou de cols profondément découpés permettant facilement le passage d'un versant à l'autre; les cols, connus sous le noms de *ports*, y sont fréquemment à l'altitude de plus de 2,000 mètres. Tels sont le *port d'Oo*, 3,002 mètres; le *port de Gavarni*, 2,333 mètres; le *port de Cavarère*, 2,241 mètres. Les principaux sommets des Pyrénées sont; la *Maladetta*, 3,404 mètres; le *mont Perdu*, 3,351 mètres; le *Vignemale*, 3,298 mètres.

Le *bassin du Rhône*, y compris les bassins secondaires de l'Hérault et de l'Aude, dans la partie qui appartient à la France, forme un parallélogramme allongé dans la direction nord-sud et incliné au sud. Sa plus grande longueur est d'environ 600 kilomètres et sa largeur moyenne, sous le 45° de latitude, est d'environ 180. Au nord, il commence au pied méridional des Vosges; à l'ouest, il côtoie le bassin de la Loire jusqu'au

mont Lozère, puis il touche au bassin de la Garonne jusqu'au *pic de Cortillo* (2,921 mètres), dans les Pyrénées.

Au sud, il est limité par le littoral méditerranéen, de Perpignan à Nice; à l'est, ce sont le *Jura* et les *Alpes* qui en dessinent les limites.

Le *Jura*, qui court dans la direction N.-E., se forme de longs sillons parallèles les uns aux autres, coupés sur un grand nombre de points par des cluses transversales qui permettent facilement le passage d'un versant à l'autre.

Les *Alpes* ont la direction moyenne N.-S. Elles se distinguent de toutes les autres chaînes par le chiffre élevé de l'altitude des sommets. La limite du bassin français commence au lac de Genève et suit une ligne de faîtes jusqu'aux Alpes maritimes. Le massif alpin est découpé par de nombreuses et larges vallées d'où s'échappent à grande vitesse des rivières à fort débit, surtout en été, à l'époque de la fonte des neiges et des glaciers.

Telles sont l'*Isère*, la *Drôme* et la *Durance*, qui enrichissent les eaux du Rhône sur la rive gauche. Ces vallées, qui pénètrent jusqu'au centre de la chaîne, sont dominées par les plus hauts sommets, parmi lesquels on peut citer le *mont Blanc*, le géant des Alpes, cime la plus élevée d'Europe, 4,810 mètres ; le *mont Isderan*, 4,045 mètres; le *mont Genèvre*, 3,592 mètres; le *mont Viso*, 3,836 mètres; le *mont Pelvoux*, 3934 mètres.

Elles sont encombrées, dans leur partie supérieure, par des glaciers et des neiges éternelles qui se maintiennent à l'altitude de 2,800 mètres; le niveau de ces neiges oscille de quelques centaines de mètres au delà et en deçà de cette limite, suivant la position des versants.

Ce bassin est remarquable par la grande différence de climat qu'il présente suivant le point que l'on considère; on y trouve à courte distance les neiges éternelles des Alpes et le climat méditerranéen de la Provence.

Géologie. — La France, comparée au reste du globe, ne présente qu'une surface de peu d'étendue; elle renferme cependant la série presque complète de tous les terrains jusqu'à présent connus des géologues. Presque tous les terrains stratifiés y sont représentés, ainsi que les terrains cristallins, plutoniques et volcaniques.

Jetons un coup d'œil rapide sur la série géologique qu'on y a reconnue.

Les *terrains de transport récents,* les dépôts de cailloux roulés, de graviers, de sables, de loess, dépôts quaternaires, couvrent presque toute la surface du pays; ils s'étendent en grandes nappes continues dans toutes les vallées.

Il n'existe pas de bassins, de dépressions du sol où l'on ne trouve, plus ou moins développés, des dépôts de transport quaternaires qui forment, en quelque sorte, un manteau continu troué seulement par les pics élevés des chaînes de montagnes.

Ce déplacement des matériaux géologiques est toujours normal aux grands cours d'eaux actuels; ces matériaux prennent leur origine dans les vallées mêmes où on les trouve, et, rarement, les fragments de roches transportés à cette époque loin de leur gisement passent d'une vallée dans une autre. Leur nature minéralogique varie suivant les lieux d'où ils proviennent; leur volume, sauf quelques exceptions, va, en général, en diminuant de grosseur depuis leur point de départ jusqu'à leur arrivée au bord de la mer.

Ainsi, au débouché de la Seine, de la Gironde et du Rhône, les matériaux de transport sont réduits à l'état de sable fin et de boue, tandis qu'à l'origine de ces bassins, dans le Morvan, dans les Pyrénées, dans les Alpes, ces mêmes matériaux sont reproduits par des blocs de toutes les dimensions.

Il est à remarquer que ces dépôts de transport quaternaires sont un des éléments essentiels de la terre végétale; partout où ils manquent, le sol est difficile à cultiver et quelquefois frappé de stérilité.

Les *terrains tertiaires* jouent un rôle important en France; ils couvrent plus de la moitié du bassin de la Seine, une partie de celui de la Loire, le bassin de la Garonne et une partie de celui du Rhône.

A l'époque où le bassin de la Seine et celui de la Loire étaient réunis en formant une grande cuvette, cette cuvette était alternativement occupée par des lacs d'eau douce et par la mer; aussi les *dépôts marins* et les *dépôts lacustres* tertiaires s'y succèdent et s'y superposent un grand nombre de fois. Cet envahissement successif de la mer et des lacs donne lieu de croire à des mouvements considérables d'affaissement et de relèvement du sol de tout le bassin.

Ces dépôts se composent d'argiles, de calcaires, de gypse, de grès et de sables. Les dépôts marins les plus développés en épaisseur et en étendue sont : le *calcaire grossier*, les *grès et sables de Beauchamps*, et, plus tard, les *sables et grès de Fontainebleau*.

Ceux d'*eau douce* sont représentés par les *calcaires de Saint-Ouen*, les *gypses de Montmartre*, les *argiles et meulières de la Brie*, les *argiles meulières et calcaires de la Beauce*. Les dépôts de cette époque, calcaires, gypses, argiles et sables, renferment de précieux matériaux pour l'industrie des constructions.

Le *terrain crétacé* forme une ceinture tout autour du bassin parisien. Le bassin de la Garonne est également entouré d'une ceinture crétacée dans la Charente, au nord, et tout le long des Pyrénées, au sud. On le retrouve dans le bassin du Rhône, très-développé, en Provence et dans la province du Languedoc. Le terrain crétacé supérieur se compose, en général, de craie blanche, dont la Champagne pouilleuse est un type, c'est-à-dire que ce terrain n'offre pas de grandes ressources pour l'agriculture. Le terrain crétacé inférieur, qui accompagne presque toujours le premier, est plus riche en variétés de roches; on y trouve des argiles, des

grès, des calcaires, des sables, et il renferme des quantités importantes de phosphates de chaux et de minerais de fer.

Le *terrain jurassique*, vu en masse, est le compagnon géographique du précédent; il forme, comme lui, une ceinture continue autour du bassin de Paris et du bassin de la Garonne. Dans l'est, il constitue la chaîne du Jura; dans les Alpes, en Savoie, en Dauphiné et en Provence, il forme la charpente de hautes montagnes découpées par de profondes vallées. C'est dans les régions jurassiques qu'on remarque les dislocations du sol les plus apparentes; les plissements, les contournements, les renversements de couches, les failles et les cluses y sont plus fréquents que dans les autres terrains de la série.

Dans les terrains jurassiques, depuis les assises inférieures liasiques jusqu'aux étages supérieurs, on ne rencontre guère que des *dépôts marins*, composés en majeure partie de calcaires de différentes natures, puis de grès, de marnes et d'argiles, peu fertiles au point de vue de l'agriculture, mais riches en minerais de fer [1].

Le *trias* et le *terrain permien* sont peu développés à la surface. Ils se composent normalement de marnes irisées, de muschelkalk, de grès bigarré et de grès vosgien. Ces éléments n'arrivent à un certain degré de développement que dans l'est de la France. Ils y forment une longue bande parallèle au versant ouest de la chaîne des Vosges. Le terrain permien a été reconnu dans le Midi et particulièrement dans l'Hérault; on en trouve encore des îlots séparés les uns des autres, à de longs intervalles, tout autour du plateau central, dans les montagnes de l'Esterel, en Provence, et quelques lambeaux dans les Pyrénées. Les pays de trias n'ont pas la fertilité des terrains tertiaires, mais ils sont riches en mines de sel et présentent un remarquable horizon métallifère renfermant du cuivre, du plomb, de l'argent que l'on trouve dans le Var, dans l'Ardèche, le Gard, la Dordogne, les Deux-Sèvres et la Moselle.

Le *terrain carbonifère* et *houiller*, le plus important pour l'industrie, n'a pas en France le développement qu'il possède en Angleterre et dans l'Amérique du Nord, mais on ne peut juger de son étendue utile d'après ce que l'on en voit seulement à la surface du sol, car, dans bien des localités, ce terrain, comme tous ceux dont nous venons de parler, se prolonge en profondeur au-dessous de terrains plus récents qui le recouvrent sans empêcher que le mineur puisse l'atteindre. La production houillère de la France provient de plusieurs bassins houillers principaux, tels que le dépôt du Nord et du Pas-de-Calais, de la Loire, de Saône-et-Loire, de l'Allier, de l'Aveyron et du Gard. D'autres dépôts, moins étendus superficiellement ou encaissés dans les roches plus anciennes, autour du plateau central, dans l'Ouest, dans le Midi, dans les Alpes, fournissent aussi leur contingent de houille.

1. *Éléments de géologie*, 1868.

Les terrains qu'on appelait autrefois *de transition*, classés maintenant dans le *dévonien* et le *silurien*, montrent leurs affleurements en France, dans la Bretagne, dans les Pyrénées, dans les Vosges, dans l'Aude et l'Hérault; ils ne surgissent dans l'intérieur que sur quelques points isolés de peu d'étendue, surtout entre les bassins du Rhône et de la Loire.

Ils se composent ordinairement de schistes argileux, de grès quartzeux et de calcaires.

Les schistes donnent lieu à de grandes exploitations d'ardoises, et les calcaires fournissent des marbres assez recherchés.

Les *terrains cristallins*, micaschistes, gneiss, granites et syénites, forment une grande partie de la presqu'île de Bretagne, sans y donner lieu à de hautes montagnes; mais, par contre, les granites et les protogines constituent l'axe principal des Alpes, du Dauphiné et de la Savoie, et leurs sommités les plus élevées. Le mont Blanc et les aiguilles qui l'accompagnent sont exclusivement composés de rochers granitiques. Le granite constitue les cimes du mont Pilat, qui domine la vallée du Rhône, et, dans les Pyrénées, quoiqu'il n'en occupe pas toujours l'axe central, il arrive à une grande hauteur, jusqu'aux sommets du Nethou et de la Maladetta.

Le *plateau central*, qu'on peut considérer comme une *grande gibbosité*, à contour à peu près circulaire, de 300 kilomètres de longueur sur autant de largeur, le point de départ d'un grand nombre de fleuves et de rivières qui s'en échappent dans toutes les directions, soit pour gagner l'Océan, soit pour verser leurs eaux dans la Méditerranée, est, dans sa grande masse, composé de *roches cristallines*. C'est un pays élevé et montueux, percé vers son centre et sur son bord oriental par des volcans anciens, et dont les vallées intérieures sont parfois remblayées par des débris volcaniques, des dépôts tertiaires et quelques dépôts houillers.

Le terrain cristallin figure encore, en France, dans la partie méridionale des *Vosges*. Le ballon d'Alsace en fait partie; puis il apparaît sur le littoral de la Méditerranée, aux environs de Fréjus, où il constitue une partie de la *chaîne des Maures*.

En *Corse*, plus de la moitié de l'île appartient aux roches granitiques; cette région est très-accidentée et l'on y voit le monte Rotondo, de 2,672 mètres d'altitude, et le monte d'Oro, de 2,652 mètres.

Les *roches plutoniques*, ignées ou métamorphiques, porphyres, diorites, serpentines, euphotides, mélaphyres, ophites, sont relativement peu développées à la surface du sol, où elles n'occupent qu'une faible étendue géographique. On ne les voit surgir que dans les régions qui s'approchent des montagnes, dans les *Vosges*, dans les *Alpes*, les *Pyrénées*, quelquefois dans la *Bretagne*, le *plateau central* et dans la *Provence*.

Ces roches sont ordinairement situées au voisinage du granite, des micaschistes et du gneiss; cependant elles percent quelquefois des dépôts plus récents: ainsi, dans la région pyrénéenne, où les ophites jouent un

certain rôle en raison du grand nombre de leurs pointements, on les voit apparaître dans les terrains silurien, devonien, dans le trias, dans les dépôts jurassiques et dans le crétacé. Les porphyres sont très-développés dans la chaîne des Vosges, dans les montagnes des environs de Fréjus et dans celles du Beaujolais, situées entre la Saône et la Loire.

Les *roches volcaniques* sont largement et complétement développées dans le plateau central. Les volcans de la fin de l'époque tertiaire et du commencement de l'époque quaternaire, volcans d'une grande énergie, ont surgi au centre de la France au moment où le relief du sol était déjà, à peu de chose près, ce qu'il est aujourd'hui, et ils y ont constitué de véritables chaînes de montagnes : à l'est, la chaîne du *Mézenc*, 1,774 mètres; au sud, celle du *Cantal*, 1,858 mètres; puis le *mont Dore*, 1,897 mètres, et la chaîne des *Puys d'Auvergne*, 1,476 mètres. D'autres points volcaniques de la même époque se sont prolongés dans la direction du sud; ils se sont fait jour dans l'Ardèche et jusqu'aux bords de la Méditerranée, dans les environs d'Agde et de Toulon.

Les éléments qui constituent les roches volcaniques, tels que trachytes, phonolites, basaltes, laves, cendres, etc., se trouvent en abondance dans tout le périmètre envahi par ces anciens volcans.

En résumé, nous voyons, ainsi que nous le disions plus haut, que la France possède presque l'échelle entière des terrains qui composent la série géologique.

D'après M. Raulin, les espaces qu'occupent, *à la surface*, ces divers terrains, jusques et y compris les terrains crétacés, peuvent être définis de la manière suivante :

Terrains primitifs (granites et leurs variétés, gneiss et micaschistes)......................	100,000 k. q.
Siluriens et devoniens....................	54,000
Porphyres, terrain houiller...............	5,400
Triasique et pénéen.......................	27,000
Jurassique..............................	108,000
Crétacé..................................	64,200

Nous voyons, par conséquent, que les terrains susceptibles de renfermer les substances métallifères proprement dites occupent, à la surface du sol, une étendue de plus de 150,000 kilomètres carrés, c'est-à-dire fort près du tiers de la surface totale de la France.

II

Forces élémentaires productives de la France.

Nous croyons devoir dire quelques mots des principales forces productives de la France, car elles se rattachent intimement au développement des mines. Que deviendraient les houillères si elles n'avaient ni routes, ni canaux, ni chemins de fer, et puisque nous essayons de retracer le mouvement industriel minéral de notre pays, il est utile de faire voir aussi quel fut le progrès de ces forces qui devaient exercer sur ce mouvement une si grande influence.

Dans cette étude, que nous ne faisons véritablement qu'effleurer, mais dont on trouvera tous les éléments dans les ouvrages spéciaux, nous exposerons successivement quel a été le mouvement progressif des voies de communication, telles que routes, chemins, chemins de fer et canaux, des machines à vapeur et des cartes géologiques, dont l'exécution devait être une des bases les plus essentielles du développement des mines. Nous ne parlerons ni des substances explosibles, ni des perforateurs, ni de l'air comprimé. Ces éléments divers, qui doivent aujourd'hui modifier favorablement l'avenir des mines en général, et particulièrement celui des exploitations métalliques, et qui, à ce point de vue, sont d'une utilité immense, qui doivent répondre aujourd'hui aux exigences toujours croissantes des besoins et en quelque sorte transformer le travail, nous entraîneraient dans des considérations trop étendues qui sortiraient du cadre que nous nous sommes imposé, et il nous suffira de les avoir indiqués ici.

Voies de communication. — Ces voies, richesses des États, ont été considérablement multipliées en France, dans le cours du siècle actuel, comme dans toute l'Europe, et, aujourd'hui, l'achèvement des lignes ferrées transforme les conditions économiques d'une foule de pays et multiplie à un haut degré les sources de la fortune publique. Ce mouvement de communication rapide nous fait assister à une véritable révolution industrielle, et il provoque partout l'exécution d'une foule de voies secondaires qui, en même temps que lui, exercent une puissante action sur l'existence matérielle et morale dès populations.

Pendant des siècles, la France n'a pas eu d'autres voies de communication que les grandes artères où les Romains faisaient passer leurs légions ou celles que Philippe-Auguste, Henri IV et Colbert tracèrent au travers du royaume.

L'agriculture et l'industrie locale ne possédaient que des sentiers ou des chemins tortueux et difformes.

Une grande impulsion fut donnée aux routes sous le règne de Louis XVI et sous les ministères de Trudaine et de Turgot; mais, néanmoins, il n'y a pas encore longtemps, quarante ans à peine, que les mines de houille de plusieurs bassins, comme celles de l'Ardèche, faisaient transporter leurs charbons à dos de mulet, et, dans le cours du dix-neuvième siècle, un grand nombre de mines n'ont pu être travaillées à cause de l'imperfection ou de l'absence des chemins.

Aujourd'hui, une transformation complète tend de plus en plus à s'effectuer. Les chemins vicinaux, déjà multipliés, pénètrent de plus en plus dans les gorges des montagnes. Les larges routes, telles que celles que l'on construisait au temps de Louis XIV, ou que les intendants traçaient à la fin du siècle dernier, tendent à disparaître ou à se retrécir, tandis que les sentiers du passé tendent à se régulariser et à s'élargir.

En 1800, la France possédait 125 routes nationales, d'une longueur totale de 31,814 kilomètres, et, avec le temps, nous avons vu s'opérer le développement suivant :

	1847.	1870.	à exécuter.
Routes nationales.	34,734k	37,300k	200k
Chemins de grande communication.. .	17,235	80,253	5,200
Routes départementales.	37,848	47,500	300
Chemins vicinaux ordinaires.	90,000	180,073	204,183
Chemins d'intérêt commun.	»	63,066	19,016

Le total du réseau vicinal en cours d'exécution, comprenant les chemins de grande communication, d'intérêts communs et vicinaux, s'élève à 551,791 kilomètres, sur lesquels, au 1er janvier 1865, 253,293 seuls étaient achevés.

On voit donc que dans l'espace de vingt ans, de 1847 à 1867, de nombreux travaux utiles ont été exécutés, et, aujourd'hui, les chemins vicinaux surtout, ceux qui sont principalement destinés à accroître les moyens de communication dans les pays les plus reculés, reçoivent une impulsion plus grande que jamais.

Voies navigables, canaux et force hydraulique.— La France était sillonnée, en 1869, par 7,300 kilomètres de rivières navigables et 5,030 kilomètres de canaux, et, en 1870, il restait 5,000 kilomètres de ces derniers à exécuter pour achever le réseau que l'on avait projeté depuis longtemps.

Ces voies diverses, tout en pouvant rendre de grands services, ne sont pourtant pas utilisées, sur la totalité de leurs parcours, autant que semblent le permettre et leur situation géographique et le volume des eaux qui les alimentent. La Loire, qui fut autrefois l'une des grandes artères commerciales de la France, qui traverse les riches houillères du centre et tout un pays industriel et agricole, n'est pas encore régulièrement navigable. La navigation du Rhône est encore incomplète. La reprise des

travaux du Lot, commencée il y a plus de 200 ans, reprise en 1837, n'était pas encore achevée en 1867.

Au commencement du siècle, on comptait à peine 1,000 kilomètres de canaux terminés, et cependant un grand nombre d'entre eux avaient été conçus et commencés depuis longtemps, comme nous le montre le tableau suivant, qui ne concerne que les principaux canaux de la France[1].

		Ouvert ou achevé en
Canal de Mons à Condé. . . .	Première rigole dans le treizième siècle, amélioré en 1775, repris en 1807. . . .	1818
Canal du Berry.	1484. Ordonnancé en 1545, 1554, 1587, 1603, repris en 1807, 1811.	1843
Canal du Centre.	1515. Ordonnancé en 1605, 1613.	1793
Canal de Bourgogne.	1515. Commencé en 1775, repris en 1808.	1832
Canal de Beaucaire.	1599-1645. Commencé en 1780, repris en 1802.	1828
Canal de Briare.	1604. Commencé en 1634.	1642
Canal des Ardennes.	1684. Repris en 1821.	1835
Canal du Rhône au Rhin. . .	1744. Ordonnancé en 1783, repris en 1804.	1834
Canal du Midi.	Commencé sous François I[er] et Henri IV, achevé par Riquet en 1662.	1672
Canal de Givors.	1749. Amélioré en 1787-1812.	1780
Canal du Nivernais.	1784. Repris en 1813.	1834
Canal de Saint-Quentin. . . .	. . . .	1810
Canal Saint-Louis.	1847. Commencé en 1864.	

Les canaux, si nécessaires au commerce du fer dans l'est de la France, exécutés aujourd'hui, sont de création toute récente.

Sans nous étendre davantage à ce sujet, nous voyons que la canalisation de la France remonte au quinzième siècle, et nous savons qu'elle a reçu une certaine impulsion sous Louis XVI et sous Napoléon I[er]; mais la plupart de tous ces travaux n'ont été achevés et n'ont pris une réelle extension que dans le siècle actuel.

Si l'on ne connaissait pas l'histoire des temps passés, on ne pourrait réellement se défendre d'un sentiment pénible quand on voit qu'il a fallu près de 300 ans pour commencer, sans l'achever, un travail destiné à exercer une si grande influence sur la vie industrielle du pays, et ce sentiment devient plus profond quand on pense qu'en Angleterre, où les voies de communication sont plus multipliées que partout ailleurs, la canalisation commencée vers la fin du siècle dernier était achevée en 1810.

Au commencement du siècle actuel, toutes les routes et tous les cacanaux y étaient terminés, et on y était prêt pour toute concurrence et pour ce grand mouvement que les chemins de fer allaient stimuler partout.

1. Grangez, *Voies navigables et canaux.*

Si, maintenant, nous recherchons la progression du travail des canaux dans ces dernières années, nous voyons que la France possédait :

En 1847.	4,350	kilomètres de canaux[1].
1851.	4,902	»
1858.	4,910[2]	»
1868.	5,020[3]	»

c'est-à-dire que dans l'espace de 21 ans, de 1847 à 1868, si les chiffres précédents sont exacts, il n'a été construit que 670 kilomètres de canaux, tandis qu'il en fallait encore plus de 5,000 pour l'achèvement du réseau.

Ces chiffres signifient encore que dans ces 20 dernières années, de 1851 à 1868, en 17 ans, il n'en a été construit que 118, et que cette partie si essentielle des voies de communication de la France a été, pour ainsi dire, complétement délaissée pendant toute cette période.

Non-seulement on avait perdu de vue l'achèvement du réseau de canalisation élaboré pendant les premières années de la Restauration, mais la plupart des canaux déjà exécutés n'ont pas été améliorés ni mis à la hauteur des exigences croissantes de l'industrie, et, dans un grand nombre de cas, leur tirant d'eau est insuffisant.

Des observations du même genre peuvent s'appliquer à nos principales rivières. Ainsi que je l'ai dit plus haut, on en est encore à étudier le régime de la Loire, qui, descendant des montagnes du centre de la France, traverse des contrées industrielles sur plus de 500 kilomètres de longueur, et possède, pour ainsi dire, sur ses rives les riches bassins houillers de Saint-Étienne, de l'Allier, de Saône-et-Loire et de la Nièvre.

La navigation y est, depuis bien des années, en pleine décadence; les sables s'accumulent sur son lit; les populations riveraines sont, pour ainsi dire, privées des bienfaits d'une voie que leur donnait la nature, et cette multitude de cours d'eaux qui viennent s'y relier, qui pourraient être si utiles dans l'étendue de leur parcours, sont entièrement stérilisés.

Des travaux considérables ont été faits sur le Rhône; mais ce fleuve attend encore qu'on y fasse disparaître les hauts fonds dont la présence nuit à la navigation dans les temps de basses eaux.

Nous ne nous étendrons pas sur toutes ces grandes questions, que l'on pourra mieux étudier dans les ouvrages spéciaux, et dont on aura une idée dans l'un des derniers Mémoires de la Société des Ingénieurs civils[4]. Nous nous bornerons à rappeler que si l'on considérait d'une manière

1. *Annales du commerce extérieur.*
2. Maurice Block.
3. Situation de l'empire en 1869.
4. *Les Chemins de fer nécessaires*, par Goschler, 1873.

plus complète l'ensemble des canaux et rivières de la France, on verrait partout en général le même caractère d'insuffisance; partout on constaterait l'élévation du prix de transport des matières principales nécessaires à l'industrie, par suite de cette insuffisance.

Des plaintes nombreuses se sont élevées depuis longtemps à cet égard, et pour ce qui concerne les substances minérales, nous les avons vues souvent reproduites dans les publications du Comité des houillères, rédigées par M. Burat, et notamment dans celle qui parut en 1872[1]; mais ces plaintes ont été bien peu entendues. Nos fleuves sont restés dans le même abandon, et la France ne peut pas encore profiter aujourd'hui des dons qui lui ont été prodigués par la nature et de l'admirable réseau de navigation intérieure qu'elle a tracé sur son sol.

Tout progresse autour de nous, en Angleterre et en Allemagne, dans cet ordre d'idées, avec la plus grande intelligence des besoins des populations et des exigences toujours nouvelles de l'industrie, et il est bien regrettable, ainsi que le dit justement M. Burat, que les gouvernements qui se sont succédé chez nous depuis soixante ans, qui ont tous répété tant de phrases sur la nécessité d'améliorer nos voies navigables, aient négligé tant d'éléments qui pouvaient concourir à la prospérité du pays.

Nous ne pouvons pas parler de ce qui concerne les services hydrauliques de la France sans rappeler qu'elle est divisée et sillonnée par une multitude de cours d'eau qui alimentant les principaux thalwegs, reçoivent chaque année d'immenses quantités d'eaux pluviales bien faiblement utilisées.

MM. les ingénieurs Césanne et Thomé de Gamond, dans des livres récents, ont fait voir toutes les ressources que l'on pourrait en tirer, toutes les forces que l'on posséderait si un ensemble de travaux dans nos montagnes pouvait en contenir une partie. Il y a longtemps, d'ailleurs, que des ingénieurs éminents, et entre autres M. Vallée, se sont occupés de la même question au point de vue des inondations.

Dans le siècle dernier, et bien plus encore, dans les temps du moyen âge, les eaux pluviales étaient recueillies avec soin pour le service des mines, et l'on voit encore aujourd'hui dans la chaîne des Vosges, comme en Bretagne ou dans les Alpes, les ruines d'anciens étangs et de longues conduites qui allaient desservir des machines hydrauliques.

Ce système a été presque entièrement abandonné depuis le commencement du siècle, et dans les temps actuels, où la force de la vapeur devient de plus en plus chère, il n'est pas inutile d'appeler l'attention sur ces forces perdues.

Si, comme exemple, nous jetons un coup d'œil sur la Loire et sur la partie de son bassin qui se trouve en amont de Roanne, nous voyons que,

1. Les houillères en 1872.

en moyenne, ce bassin, de 697,000 hectares de surface, reçoit une quantité d'eau pluviale de 4,530,000,000 mètres cubes.

Plus de la moitié de cette quantité d'eau est évaporée ou autrement utilisée par la nature; mais près de deux milliards de mètres cubes passent annuellement au-dessous du pont de Roanne.

Cette immense quantité d'eau s'écoule d'une manière irrégulière et en quelque sorte torrentielle. Pendant une partie de l'année, le débit de la Loire, à l'étiage, ne dépasse pas 864,000 mètres cubes par 24 heures, et dans certains moments, comme dans les crues ordinaires, il atteint, dans le même temps, le chiffre de 345,600,000. Pendant la forte crue de 1846, il s'élevait à 639,360,000, c'est-à-dire presque le tiers du débit de l'année moyenne. Il est donc facile de comprendre que, par l'exécution de travaux exécutés dans les hautes vallées du bassin de la Loire, on pourrait opérer des retenues importantes analogues à l'étang des Settons, dans le Morvan, qui alimente le canal du Nivernais, et on parviendrait ainsi à régulariser le cours de la Loire, à augmenter le nombre de ses jours de navigabilité, à produire ainsi des réservoirs pour les irrigations et les canaux ou obtenir la répartition de forces hydrauliques puissantes.

Cet exemple, que nous venons de citer, montre tout l'intérêt qui s'attache à des études de ce genre et l'utilité immense qu'on en retirerait si on les appliquait aux cours d'eaux de la France entière.

L'élévation croissante du prix de la houille donne à ces observations une importance incontestable.

Le volume des eaux pluviales qui tombent dans chaque bassin peut être exprimé par le tableau suivant :

Seine.	7,731,083 hect.	49,618,422,900 m. c.
Loire.	11,514,566	76,150,509,400
Gironde..	9,055,013	74,251,116,600
Rhône.	9,866,643	94,733,128,500
Rhin.	3,833,779	27,599,680,800
Escaut.	324,401	2,014,324,200
Manche.	4,515,129	38,121,032,000
Océan..	4,941,736	40,522,235,000
Méditerranée. . . .	2,778,678	18,071,407,000
	54,561,028 hect.	421,081,856,400 m. c.

Snr ces 400 milliards de mètres cubes, plus de 200 sont absorbés par diverses causes; mais 180 milliards au moins rentrent chaque année à la mer. N'y a-t-il pas là une immense force hydraulique qu'il devient chaque jour de plus en plus nécessaire d'utiliser?

Reboisement des montagnes. — La question précédente se rattache encore à celle du reboisement des montagnes, qui a été commencé depuis

un certain nombre d'années. On se rappelle que, pendant la première révolution, un décret du Directoire, an VI, autorisa la vente des bois communaux, etc. A la suite de ce décret, une grande partie des montagnes de la France, comme les Alpes, la Lozère, les Pyrénées a été déboisée; des prairies ont pris la place des forêts anciennes et les eaux sont devenues torrentielles, tandis que le climat devenait plus âpre. Au point de vue du maintien des eaux, ce reboisement est d'une utilité reconnue, mais il l'est encore à celui des mines, qui y trouvaient jadis et leur combustible et les bois nécessaires au soutènement des travaux; plusieurs d'entre elles ont été suspendues ou sont restées inactives par suite de l'impossibilité de se les procurer.

Chemins de fer. — Le premier chemin de fer, comme les premières machines à vapeur, a été fait pour les mines, et c'est à l'industrie minérale, on peut le dire hautement, que revient l'honneur du mouvement colossal et merveilleux que nous voyons s'accomplir aujourd'hui dans le commerce et dans l'industrie du monde.

Le premier essai de chemin de fer fut tenté aux mines de Newcastle, dans le dix-septième siècle, par un Français oublié, Beaumont, et ce n'est qu'à la fin du dix-huitième siècle que l'application définitive en fut faite. C'est à peu près vers le même temps que l'on essaya la locomotive au moyen de la vapeur.

En 1804, on put en voir une fonctionner, à Newcastle, sur une voie de fonte, prélude de celles qui doivent marcher un jour sur des voies d'acier.

En 1830, Stephenson et un Français, Marc Séguin, trouvent la véritable solution du problème et transforment en fait accompli ce qui n'avait été jusqu'alors qu'à l'état de question; à partir de ce moment commence la grande transformation des usages et des habitudes, et l'on verra bientôt ce que peut produire la puissance du crédit et des associations.

Le tableau suivant nous montre que les chemins de fer sont de création toute récente, et en y faisant connaître quelles sont les nations qui les premières en comprirent l'importance, comme en y établissant les rapports entre la longueur des chemins effectués et le nombre des habitants, nous donnerons en quelque sorte une appréciation du degré industriel de chaque peuple.

NATIONS.	SURFACE kilomètres carrés.	POPULATION.	DATE de l'ouverture du premier chemin de fer.	LONGUEUR des chemins effectués fin 1869.	LONGUEUR par myriamètre carré.	LONGUEUR par million d'habitants.
				kilom.		
Angleterre	315640	30000000	1825	24760	7,85	825
Amérique du Nord	»	39000000	1825	75600	0,00	1938
Belgique	29455	4897794	1825	3052	10,36	623
France	543051	38192064	1828	16954	3,12	414
Autriche	620400	32530002	1828	8051	1,30	248
Prusse	352201	24039543	1838	9924	2,82	413
Espagne	494946	15752607	1840	5407	1,09	343
Portugal	89355	3927392	1854	694	0,78	177
Russie	4973786	61231526	»	7674	0,15	125
Turquie, Roumanie, Grèce	566089	17786032	»	524	0,09	29
Suisse	41418	2510494	»	1380	3,33	550
Italie	284223	25527915	»	5772	2,03	226
Pays-Bas	32840	3628468	»	1480	4,51	408
Danemark	38230	1753787	»	682	1,28	389

En France, les premiers chemins de fer furent destinés à desservir les exploitations houillères de Saint-Étienne d'abord, d'Épinac et d'Alais à Beaucaire ensuite en 1833.

C'est à partir de 1835 que l'impulsion fut donnée. Depuis cette époque, ils ont été développés sur une grande échelle, et ils sont appelés désormais à pénétrer jusque dans les gorges des montagnes et à concourir, avec les chemins vicinaux, à atteindre les lieux les plus reculés, à y porter la vie industrielle comme à y diminuer le poids de l'accroissement de la main-d'œuvre ou celui des exigences des temps présents.

Au 1er janvier 1872, la France possédait 17,124 kilomètres de chemins de fer en exploitation et 25,173 kilomètres de lignes en construction ou décrétées.

Machines à vapeur. — La première machine à vapeur établie en France fut appliquée sur les mines de houille de Littry (Calvados), en 1749, où elle servait à l'épuisement des eaux. Il a fallu trois quarts de siècle pour régulariser, chez nous, l'emploi des appareils qui devaient prodigieusement activer la plupart des industries et

coopérer dans une large mesure à la révolution industrielle qui se fait de notre temps et sous nos yeux.

C'est en 1816 que le nombre des machines à vapeur a commencé à s élever, et, dans toute la période comprise entre 1749 et 1820, on n'en comptait encore que 65.

L'élan fut donné réellement vers 1830 et 1835, pour ainsi dire au moment de la création des chemins de fer, et, à partir de cette époque, le nombre des machines fixes ou des locomobiles employées dans les départements français, comprenant aussi les machines de toutes sortes, va constamment et rapidement en s'accroissant, comme le montrent les chiffres suivants :

Machines en	1820. . .	93,	force en chevaux. . .		1,448.
—	1866[1]. .	28,002,	—	—	748,366.
—	1869. . .	32,814,	—	—	800,378.

C'est-à-dire que le capital engagé dans les machines à vapeur, qui pouvait être d'un million à un million et demi en 1820, s'élevait à plus de 700 millions 50 ans plus tard, et la force des 800,000 chevaux-vapeur que développaient ces machines à cette époque aurait été à peine remplacée par le travail de seize millions d'hommes.

Jusque dans ces derniers temps, les machines à vapeur étaient soumises au système de tutelle qui s'est étendu trop longtemps sur la France, au grand préjudice de ses intérêts, et elles ne pouvaient être établies qu'en vertu d'une autorisation préfectorale et sur le rapport des ingégénieurs des mines.

Ces formalités sont très-amoindries par le décret de 1865, en vertu duquel tout le monde peut établir une machine à vapeur après une simple déclaration au préfet du département.

Cartes géologiques. — La France ne possède pas encore de cartes géologiques pareilles à celles que l'on peut admirer en Angleterre, aux États-Unis, au Canada, en Autriche, etc.; mais, néanmoins, elle a une carte générale d'ensemble et un certain nombre de cartes départementales d'un grand mérite.

Les premiers travaux de ce genre datent de la fin du siècle dernier, et, malgré le talent ou même le génie des hommes, tels que Lavoisier, qui y ont mis la main, ces travaux, incomplets d'ailleurs, se ressentent de l'état peu avancé de la science.

En 1664, une petite carte géographique de la France était publiée par l'abbé Coulon, dans un ouvrage spécial destiné à l'hydrographie; les traits les plus généraux, dit M. Élie de Beaumont[2], et les plus simples

1. *Annales du commerce extérieur.*
2. Carte géologique de la France, 1841.

d'une distribution méthodique des matières minérales y sont déjà figurés avec un degré d'exactitude dont on a lieu d'être surpris.

Pendant la majeure partie du siècle actuel, le géologue n'a été guidé, en France, que par la carte de MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, qui ne parut qu'en 1841.

C'est une grande œuvre, assurément, accompagnée d'un texte remarquable, où ont été particulièrement étudiés avec grand soin et avec les idées du temps les dépôts houillers de la France. Les dépôts métalliques concernant le cuivre, le plomb, l'argent, délaissés par l'industrie sans raison véritablement légitime, n'y sont présentés que d'une manière très-générale et, on peut le dire sans déprécier le mérite d'un tel travail, très superficielle.

Après l'apparition de cette carte, ou à peu près pendant le même temps, parurent des cartes départementales qui ne tenaient guère plus compte des gisements métallifères, et ce n'est qu'environ 50 ans après la promulgation de la loi sur les mines de 1810, que l'on en vit paraître quelques-unes, peu nombreuses, où les études de ces gisements ont plus particulièrement fixé l'attention de leurs auteurs.

Nous voyons donc que le travail des cartes géologiques, d'une utilité si grande pour le développement de l'industrie minérale, ne date que de quelques années.

L'absence de ces documents n'a sans doute pas nui au développement des mines de houille et de fer qui se trouvaient entraînées dans le grand mouvement industriel provoqué par la création des voies ferrées, et qu'étudiaient un grand nombre d'ingénieurs; mais elle a été contraire, à un haut degré, on peut le croire, à l'intérêt des mines de plomb, cuivre, argent, etc., qui, ainsi que nous le verrons plus loin, sont nombreuses en France, et n'ont presque rien produit pendant le cours de ce siècle.

On compte, aujourd'hui, environ 64 cartes géologiques pour 64 départements; mais nous devons remarquer qu'il en est beaucoup parmi elles qui, faites déjà depuis trente ans, devront subir de grandes modifications par suite du progrès de la science.

Depuis 1868, en vertu d'un décret de l'empire, les ingénieurs de l'État travaillent à la constitution de la grande carte géologique de la France, et tout donne lieu de croire qu'ils produiront un travail complet destiné à être d'une grande utilité; mais il est permis de regretter que l'on n'ait pas utilisé la bonne volonté et le concours des membres indépendants de la Société géologique de France qui renferme dans son sein tant d'hommes désintéressés et du plus haut mérite.

Les cartes publiées jusqu'en 1872 sont, je crois, les suivantes :

Carte générale de France, par Élie de Beaumont et Dufrénoy. .	1841	
Département de l'Aisne, par D'Archiac.	1843,	avec texte.
— Haute-Marne, par Chancourtois et Duhamel. .	1861	—

épartement des	Vosges, par de Billy.	1848	, avec texte.
—	Tarn, par de Boucheporn.	1848	—
—	Corrèze, par de Boucheporn.	1848	—
—	Meuse, par Buvignier.	1845	—
—	Ardennes, par Buvignier et Sauvage.	1841	—
—	Maine-et-Loire, par Cacarrié.	1845	—
—	Charente, par Coquand.	1859	—
—	Haut-Rhin, par Delbos et Kœchlin.	1867	—
—	Seine, par Delesse..	1865	—
—	Gard, par Dumas.	1845	—
—	Pas-de-Calais, par Dusouich.	1851	—
—	Doubs, par Résal et Royer.	1863	—
—	Haute-Marne, par Royer et Barotte..	1865	—
—	Seine-et-Marne, par Sénarmont.	1851	—
—	Marne, par Sauvage et Buvignier.	—	—
—	Ile-et-Vilaine, par Massieux (Durocher).	1868	—
—	Aveyron, par Boisse..	1872	—
—	Sarthe; par Triger..	1835	—
—	Nièvre, par Ébray..	1862	—
—	Finistère, par de Fourcy.	1844	—
—	Vaucluse, par Scipion Cras.	1862	—
—	Isère, par Scipion Gras.	1863	—
—	Loire, par Gruner..	1857	—
—	Côte-d'Or, par Guillebot de Nerville.	1853	—
—	Moselle, par Reverchon.	1868	—
—	Puy-de-Dôme, par Lecoq.	1863	—
—	Meurthe, par Levallois.	1855	—
—	Aube, par Leymerie.	1846	—
—	Yonne, par Leymerie et Raulin.	1858	—
—	Dauphiné, par Lory..	1857	—
—	Briançonnais, par Lory.	1863	—
—	Morvan, par Manès.	—	—
—	Nord, par Meugy.	1860	—
—	Eure, par Passy.	1857	—
—	Cher, par Bertera et Boulanger.	1850	—
—	Haute-Vienne, par Mallard.	—	—
—	Creuse, par de Cessac.	—	—
—	Allier, par Boulanger.	—	—
—	Ardèche, par Dalmas.	—	—
—	Calvados, par de Caumont	—	—
—	Cantal, par Baudin.	—	—
—	Charente-Inférieure, par Manès.	—	—
—	Côtes-du-Nord, par de Fourcy.	—	—
—	Var, par de Villeneuve.	—	—
—	Seine-et-Oise, par de Sénarmont.	—	—
—	Drôme, par Gras.	—	—
—	Gers, par Jacquot..	—	—
—	Gironde, par Pigeon.	—	—

Département de la	Loire-Inférieure, par Caillaud	1850,	avec texte.
—	Loiret, par de Fourcy	—	—
—	Morbihan, par de Fourcy	—	—
—	Cantal, par Rames	—	—
—	Mayenne, par Blavier	—	—
—	Oise, par Passy	—	—
—	Orne, par Blavier	—	—
—	Pyrénées, par Charpentier	—	—
—	Haute-Saône, par Thirria	—	—
—	Saône-et-Loire, par Manès	—	—
—	Seine-Inférieure, par Passy	1832	—
—	Savoie, par Favre	—	—
—	Somme, par Buteux	—	—
—	Ariége, par de Mussy	1870	—
—	Savoie, par Pillet, Lory, Vallet	1873	—

Sur ces 65 cartes, 36 ont été faites par des ingénieurs de l'État et les autres par des géologues sans fonctions administratives, soit avec leurs propres ressources, soit avec le concours des conseils généraux. Enfin, rappelons que le Bulletin mensuel de la Société géologique renferme une foule de précieux détails sur la géologie de notre pays.

En résumé nous voyons, et c'est là ce que nous voulions prouver, que si de grands travaux ont été accomplis dans le cours des siècles passés, ceux qui sont le plus en rapport avec le système rapide que la vapeur a introduit dans nos habitudes, ne datent que de quelques années et ne sont point encore parvenus au degré d'achèvement nécessaire.

Que les mines ont pu vivre dans les siècles derniers, quand elles trouvaient autour d'elles le bois des forêts qui les alimentaient, ou des voies de communication; qu'elles ont été, plus tard et en grand nombre, obligées de rester inactives par suite de l'absence de moyens de transport ou de la dénudation des montagnes, et qu enfin il reste beaucoup à faire encore pour compléter l'ensemble de ces forces productives qui puissent permettre de satisfaire aux besoins toujours croissants de la France.

III

Production minérale de la France.

En 1869, la France occupait environ 98,000[1] ouvriers pour les travaux de ses mines, dont 84,000 étaient employés aux mines de combustible, tandis qu'en 1835 on en comptait à peine 20,000 pour les houillères, 1,600 pour les mines autres que les mines de fer, et 11,000 pour ces der-

1. *Annales du commerce extérieur.*

nières[1]. Aussi la production s'est-elle accrue depuis cette époque dans des proportions considérables.

Il ne nous est pas possible de donner aujourd'hui la production minérale de la France, telle qu'elle peut être en 1873, parce que les documents complets nous manquent à cet égard; mais en rappelant les chiffres donnés par l'administration des mines dans les comptes rendus publiés en 1867, se rapportant à l'année 1864, et en y joignant les documents relatifs à 1869, que nous retrouvons dans les *Annales du commerce extérieur*, nous aurons une idée suffisante de ce que produit aujourd'hui notre sol et des rapports qui existent entre les divers éléments de cette production. Ces chiffres sont les suivants, que nous réunissons dans un même tableau :

Nombre de mines actives.		1864. Tonnes.	1864. Valeur.	1869. Tonnes.
327	Houille et anthracite.	10,978,360	126,749,126	13,464,205
	Lignite.	264,274	2,912,351	—
	Tourbes.	376,851	3,627,035	328,764
	Minerais de fer.	3,093,322	15,464,258	3,461,600
12	Minerais de cuivre[2].	86,739	2,179,018	92,519
	Minerais de plomb (alquifoux).	550	109,793	309
39	— plomb et argent. . . .	14,191	3,541,931	83,408[3]
8	— antimoine.	78	25,794	120
4	— manganèse.	2,831	197,736	6,073
1	— nickel et cobalt. . . .	26	5,233	
	— zinc.	978	121,204	1,000
	— sel marin des marais salants.	654,268	11,789,859	
	— mines de sel gemme.	167,671		
	— graphite.	10	450	
	Bitume et schistes bitumineux.	169,029	858,894	
	Pyrites de fer.	40,641	626,441	
	Phosphates de chaux[4] (1867 Daubrée).	24,000	770,000	
			168,979,123	

1.
Combustibles (ouvriers). .	en 1869.	84,494.	En 1835.	19,484
Fer.	—	9,987.	—	11,532
Métaux.	—	3,616.	—	1,683

2. Nous croyons que ces minerais de cuivre représentent une quantité considérable de pyrites de fer, telles que celles de Chessy et de Sainbel, qui, depuis longtemps, étaient considérées comme minerai de cuivre dans les comptes rendus des ingénieurs; aujourd'hui, ces minerais sont particulièrement utilisés pour la fabrication de l'acide sulfurique, et on doit plutôt les considérer comme pyrites cuivreuses. La France ne produisait, en 1864, que des quantités insignifiantes de minerais pouvant prendre le nom de minerais de cuivre.

3. La valeur des minerais de plomb et argent, en 1869, était de 2,248,433 fr. (*Annales du commerce*).

4. La quantité de phosphates extraits s'est notablement accrue depuis la découverte des gîtes du Lot, Tarn-et-Garonne et Boulonnais.

Nous voyons, d'après ce tableau, que les combustibles, les minerais de fer et le sel marin constituent la plus grande partie de ces 168 millions, et que les minerais métalliques proprement dits, tels que les cuivres, plombs, zinc, nickel et cobalt, manganèse, antimoine et pyrites de fer, n'y sont représentés que pour la somme de 6,807,150 fr.

Cette différence énorme que nous constatons, qui provient d'ailleurs du développement considérable qu'ont acquis les mines de combustible, serait probablement plus grande encore pour l'année 1873, car les mines métalliques n'ont fait, dans leur ensemble, malgré la tendance marquée pour leur reprise, que bien peu de progrès depuis 1865, et les métaux que l'on consomme proviennent toujours en grande partie de l'élaboration des vieux métaux ou de l'importation de métaux et minerais étrangers.

Ces importations diverses ont une valeur importante, et elles montrent, ainsi qu'on peut le déduire des tableaux qui vont suivre, que si de grands progrès ont été réalisés dans le cours du siècle actuel, ils sont encore insuffisants, quelque remarquables qu'ils soient, pour satisfaire aux besoins de la consommation.

Minerais importés en 1871[1].

	Tonnes.	Valeur.
Combustible	5,279,955	94,511,205 fr.
Coke	276,835	5,536,702
Minerais de fer	378,235	7,564,707
— de cuivre	2,413	2,340,940
— de plomb	5,763	1,440,914
— manganèse	10,489	1,992,954
— de zinc	3,548	425,865
— d'étain	690	414,292
Pyrites de fer	18,723	936,189
Soufre non épuré	24,987	3,998,071
Bitume terreux	1,407	22,151
Bitume pur	12,430	2,545,841
Minerais d'argent	19,9	21,933
Cendres d'orféyre	622	1,244,302
Minerais divers	2,660	399,131
Vieux cuivre	2,301	3,107,681
Vieux plomb	52	22,065
Vieux zinc	213	59,676
Valeur des combustibles et minerais de fer importés en 1871		107,612,614
Autres minerais		18,972,005
Total		126,584,619

1. *Douanes* (Commerce spécial).

Produit des usines de la France[1] *en* 1869.

	Tonnes.	Valeur.
Fonte.	1,380,965	125,789,736 fr.
Fer marchand.	685,092	203,426,715
Fer pour rails.	216,628	
Acier de cémentation et de forge. . .	102,614	36,005,714
— fondu.	7,610	5,749,306
Cuivre..	21,859	43,429,067
Plomb..	25,456	10,889,478
Zinc..	4,727	2,889,692
Argent	46,299k	10,112,167
Or.	755,557gr	2,591,394
Valeur des fontes et fers.		370,971,471
Valeur des métaux fabriqués.		69,911,798
Total.		440,883,269

Les minerais qui servent à l'élaboration de ces métaux proviennent des mines françaises dont nous avons donné plus haut la production pour 1869, des minerais étrangers importés, de cendres d'orfévre, de vieux cuivres et de plombs argentifères dont on retire aujourd'hui l'argent par la méthode du patinsonnage.

Les minerais étrangers de fer viennent surtout de l'Algérie, de l'Espagne, de l'île d'Elbe et de la Belgique.

Les minerais de cuivre provenaient d'un grand nombre de points du globe et notamment du Chili, de la Bolivie, des abords de la mer Noire, de l'Algérie, de l'Italie, mais la majeure partie du cuivre fabriqué provient de l'élaboration des vieux cuivres. Le cuivre métallique importé nous arrive d'Angleterre, du Chili, de l'Espagne, etc.

Les usines à plomb sont alimentées par des minerais ou par des plombs de la Sardaigne, de l'Espagne, de l'Algérie, ou par les minerais nationaux. Les plombs métalliques en masses brutes, saumons, barres ou plaques, viennent de l'Angleterre, de la Belgique, de l'Espagne, etc.

Les calamines et les blendes de l'Espagne, les zincs de Silésie, de Belgique et de Russie sont travaillés dans les usines à zinc. Les zincs en masses, en saumons ou en barres, proviennent surtout de la Belgique et de l'Allemagne.

Les usines de la France ne fournissaient que des produits métalliques insignifiants vers le commencement du siècle; multipliées et répandues sur le territoire pour le fer, elles n'étaient qu'en très-petit nombre pour les autres métaux et la valeur de ces derniers dépassait à peine 500,000 francs en 1816[2].

1. *Annales du commerce extérieur.*
2. Comptes rendus des Ingénieurs, 1867.

C'est quand les chemins de fer commencèrent à avoir un certain développement, quand ils vinrent stimuler l'industrie, accroître les forces de la nation et faciliter les transports que l'on commença à créer de nouvelles usines pour les métaux autres que le fer; ces usines ont progressé jusqu'à présent, et ont pu fournir depuis vingt-cinq ans, avec des bénéfices importants, des quantités métalliques d'une valeur cent fois plus élevée qu'auparavant.

Cependant ces produits qu'on en obtient sont encore loin de suffire aux besoins de la consommation.

Nous en aurons une idée en rappelant qu'indépendamment des métaux fabriqués dans les usines il a été importé de 1858 à 1867 environ :

	Tonnes.
Cuivre.	160,000
Plomb.	230,000
Zinc.	300,000
Mercure.	2,000
Manganèse.	100,000
Antimoine.	800
Nickel.	250
Cobalt.	400
Arsénic	99

représentant sans l'or ni l'argent une valeur de plus de 700 millions.

Métaux importés en 1871[1].

	Tonnes.	Valeur.
Cuivre (1re fusion).	12,051,8	21,693,116 fr.
Plomb.	34,210,9	15,052,805
Zinc.	21,050	9,472,651
Argent.	205,855k	45,280,000
Or.	2,303	7,830,000
Étain.	4,578,4	16,024,561
Bismuth.	33	897,183
Nickel.	36	297,000
Antimoine.	130	176,382
Cobalt.	37	11,300
Mercure.	129	647,225
Valeur des métaux importés autres que le fer. .		117,412,503 fr.

Nous voyons donc enfin :

Que le maniement et l'élaboration des substances minérales pour la

1. *Douanes* (Commerce spécial).

France représente actuellement une valeur toujours croissante qui s'élève à plus de huit cent millions, si l'on tient compte des fers et fontes importés et de l'accroissement de la production houillère, savoir :

Combustibles.	250 millions
Produit des usines. . . .	440 —
Métaux importés.	117 —
	807 millions.

Que la valeur des métaux fabriqués ou importés, autres que le fer, atteint, en 1871, 186 millions, et que celle des métaux importés est presque double de celle des métaux fabriqués dans les usines du pays.

Que la production du sol français en métaux autres que le fer n'est qu'une partie minime des métaux consommés.

Cette dernière observation ne nous montre-t-elle pas tout l'intérêt qui s'attache à l'étude de notre pays, et lorsque nous voyons nos montagnes constituées comme le sont celles des nations ou se trouvent les mines métalliques les plus nombreuses, n'est-il pas permis de penser qu'une grande part de ces millions pourrait chaque année rester chez nous au lieu d'aller rémunérer le travail étranger.

L'étain figure à peine parmi les produits indigènes et pourtant de grandes quantités de ce métal paraissent avoir été fabriquées dans le centre et l'ouest de la France par les Gaulois, ainsi que nous le verrons plus loin.

Le mercure vient entièrement de l'étranger; il paraît en exister quelques mines en France, mais on n'en connaît réellement ni la valeur ni l'importance.

Le cuivre entre pour une valeur considérable dans la consommation des métaux de la France, qui n'en produit que des quantités insignifiantes provenant de son sol, et cependant, indépendamment des découvertes récentes, il existe un grand nombre de gisements de ce métal. Ces gisements ont produit des quantités importantes de cuivre dans des temps reculés, et ils ont été abandonnés ou oubliés par suite de circonstances multiples dont nous essayerons de retracer l'ensemble général.

Le zinc est l'objet d'importations considérables, et jusqu'à ces dernières années on avait cru que la France ne possédait pas de gisements importants de calamine. Des découvertes récentes viennent modifier cette opinion, et, dans tous les cas, les mines de blende non exploitées sont très-répandues.

Les mines de plomb et argent sont des plus nombreuses en France, et malgré cela plus de la moitié du plomb consommé provient des importations.

Enfin, d'après tout ce que nous venons de dire, nous voyons que les

mines de houille sont les seules en réalité qui, dans le cours du siècle actuel, aient acquis dans notre pays une réelle importance.

Doit-il en être toujours ainsi, nous ne le croyons pas, et cette situation se modifiera certainement au fur et à mesure que les voies de communication se multiplieront.

IV

Mines métalliques.

Les mines métalliques comprennent deux classes de substances bien distinctes : les mines de fer et les mines de plomb, cuivre, étain, argent, etc. Les premières ont occupé l'industrie humaine depuis des temps éloignés, mais elles n'ont jamais été plus recherchées qu'aujourd'hui, par suite de la grande extension donnée à l'application du fer et surtout par suite des progrès considérables accomplis récemment dans les procédés de fabrication. On peut, avec raison, les considérer comme liées d'une manière toute particulière à l'époque actuelle.

Les secondes, au contraire, moins importantes sans doute que les précédentes, sous le rapport de l'influence qu'elles exercent sur la civilisation, mais néanmoins nécessaires aussi à ses progrès, se rattachent à des travaux qui se perdent dans la nuit des temps. Elles ont été pour la plupart recherchées et travaillées bien avant les mines de fer, puisque l'âge du bronze a succédé à celui de la pierre et nous savons que l'or de la Colchide et du Pactole et, plus tard, celui des Gaules ont surexcité les passions et les convoitises humaines longtemps avant que le fer et la plupart des métaux fussent entrés dans les habitudes ordinaires de la vie.

Enfin, ces substances métalliques diverses ont toutes été travaillées longtemps avant la houille dont l'emploi n'a pris une réelle extension que dans le cours du dix-neuvième siècle.

Il nous semble donc naturel de suivre l'ordre chronologique des faits et de parler d'abord des substances métalliques autres que le fer.

Des mines nombreuses de cette nature ont été exploitées en France depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours. Les déblais accumulés près des ouvertures de ces mines anciennes sont, pour ainsi dire, les seuls témoins que nous puissions invoquer aujourd'hui pour avoir une idée de la production minérale à diverses époques de notre histoire et, par conséquent, nous ne pouvons juger de l'importance de cette production, que par l'importance même des excavations ou des déblais qui, malheureusement, sont aujourd'hui en partie détruits, ou en partie cachés par la végétation qui les recouvre. Mais le peu que nous en con-

naissons, représentant peut-être le travail accumulé de plusieurs siècles, nous indique que des quantités considérables de plomb, d'argent, de cuivre, d'étain et probablement même d'or ont été extraites du sol de la France.

Comment ces exploitations ont-elles été abandonnées, comment sont-elles déchues à un tel degré d'abaissement qu'on en ignore presque aujourd'hui l'existence? C'est une longue histoire que nous avons essayé déjà de résumer[1], et sur laquelle nous devons dire ici quelques mots.

Si on jette un coup d'œil général sur ce qu'ont pu être les mines de la France dans les siècles passés, on remarque plusieurs périodes d'activité séparées, en quelque sorte, par des temps de délaissement et d'abandon qui peuvent être exprimées de la manière suivante :

Période gauloise, inconnue;
Période romaine;
Période du moyen âge, et notamment du douzième siècle;
Période de la Renaissance, au seizième siècle; abandon en France vers 1572 et vers 1633 dans les Vosges;
Reprise au dix-huitième siècle et surtout dans les années qui précédèrent la Révolution;
Abandon presque total pendant le dix-neuvième siècle.

Si on recherche les causes de ces abandons successifs on arrive à reconnaître :

1° Qu'un grand nombre de ces mines ont été arrêtées par suite de l'insuffisance des moyens dont on disposait, au moment où il aurait fallu des forces plus puissantes pour en poursuivre l'exploitation, et qu'elles ont été reprises quand des forces nouvelles dues aux progrès de l'art ou de la science ont été mises aux mains du mineur.

2° Que les malheurs publics, l'influence d'une mauvaise administration dans les siècles derniers, la rencontre de vieux travaux inconnus, beaucoup plus que la découverte de l'Amérique, beaucoup plus que l'élévation du prix de la main-d'œuvre ou l'abaissement de celui des métaux, sont les causes principales d'un anéantissement qui depuis plus de trois cents ans s'est, pour ainsi dire, perpétué jusqu'au siècle actuel.

3° Que l'opinion défavorable, non justifiée, à l'égard des gisements métalliques, l'absence ou l'imperfection des moyens de transport ainsi que l'éloignement ou la privation du combustible, et souvent l'inconstance des exploitants, ont été les principales causes du délaissement des mines pendant le dix-neuvième siècle jusqu'à nos jours.

Après la période romaine qui paraît avoir été très-active, après l'époque

1. Mémoires de la Société des Ingénieurs civils, 1871.

où les Sarrazins travaillaient aux mines des Pyrénées, des Corbières, des Maures et des Alpes, vers la fin du onzième siècle et particulièrement pendant le douzième, nous voyons des mines nombreuses ouvertes dans toutes les parties de la France.

Des documents, des dates inscrites encore sur des pierres que l'on retrouve aujourd'hui, et le souvenir des droits que l'on payait aux seigneurs féodaux tels que les comtes de Toulouse, les évêques de Viviers, les rois d'Aragon, etc., ne laissent aucun doute à cet égard.

Pendant cette période, l'exploitation était généralement faite par le feu, et on n'appliquait pas l'exécution des galeries d'écoulement. On descendait dans la profondeur des gisements à partir de l'affleurement, tant que l'on n'était pas trop gêné par les eaux ou le manque d'air.

Il dut donc arriver un moment, après un ou deux siècles de travail où un grand nombre de mines durent être abandonnées par la force des choses, comme devenant de plus en plus difficiles à travailler, et ayant cessé de donner des produits rémunérateurs.

A cette époque les seuls moyens de broyage des minerais consistaient dans l'emploi de meules mues par des roues hydrauliques qui, vraisemblablement, furent appliquées pour la première fois par les moines dans le courant du douzième siècle, et les procédés actuels si perfectionnés pour le lavage de ces minerais étaient tout à fait inconnus.

On recherchait donc particulièrement les minerais les plus purs et ce que nous appelons les minerais de boccard étaient souvent négligés et laissés dans la mine.

Le pays était alors couvert d'immenses forêts, on fondait sur place et on n'avait à transporter que les métaux fabriqués.

C'est ce qui explique la présence de scories disséminées dans une multitude d'endroits aujourd'hui privés de bois, dénudés, sans routes et éloignés des principales voies de communication, et où, par cette seule raison, il serait impossible de penser à réactiver les exploitations anciennes.

On comprend donc enfin, sans entrer dans d'autres détails que la période d'activité du moyen âge dut cesser particulièrement par suite de l'approfondissement des travaux et non pas par l'absence du minerai dans les gisements.

La reprise de ces mines, considérée d'une manière générale, paraît avoir eu lieu au commencement du seizième siècle, bien peu de temps après la découverte de l'Amérique; c'est à cette époque que l'on reprit les anciens travaux des Vosges et un grand nombre de ceux de l'Allemagne et de la Suède; cette reprise s'effectua sur bien des points de la France et notamment dans le Rouergue, dans les Cévennes, dans le Nivernais, etc.

L'art des mines avait fait de nouveaux progrès, et ces progrès permettaient d'aller rechercher les richesses abandonnées au fond des anciens

travaux. On avait alors conçu l'application des grandes galeries d'écoulement, et on employa le boccard à l'aide duquel on pouvait désormais utiliser des minerais antérieurement délaissés.

Dans les Vosges, cette période fut poursuivie sans discontinuité pendant plus d'un siècle, jusqu'en 1633, c'est-à-dire jusqu'à ce que les excès de la guerre de trente ans vinrent anéantir les établissements et déterminer l'abandon des mines.

En France, et surtout dans le Midi où se trouvent les mines les plus nombreuses, le développement de l'industrie minérale fut arrêté et suspendu par l'explosion des guerres religieuses qui, pendant longtemps, causèrent dans toutes ces contrées les plus lamentables calamités.

Il n'y eut plus que de rares exploitations, jusqu'au dix-huitième siècle. L'abandon était complet sous le règne de Louis XIV; les mines productives des temps passés étaient de plus en plus oubliées; leurs ouvertures éboulées se cachaient dans les broussailles et les traditions mêmes étaient déjà tout à fait perdues.

Au commencement du dix-huitième siècle elles furent reprises avec une certaine activité sur un grand nombre de points de la France, mais, pendant la première moitié de ce siècle, la vaste étendue des concessions octroyées, et d'autres causes inutiles à rappeler ici, nuisirent au développement régulier de ce genre d'industrie qui ne commença réellement à s'étendre que sous le règne de Louis XVI.

A cette époque, le nombre des mines s'accroissait de plus en plus, mais elles durent encore une fois succomber sous le poids des malheurs de la Révolution, sans que leur richesse ou leur pauvreté y fût pour rien.

De 1750 à 1792, on remarque quelques exploitations poursuivies avec bénéfice en Bretagne, dans les Pyrénées, et dans le centre de la France.

Dans le cours du dix-neuvième siècle de nombreuses tentatives ont été faites. Lorsqu'on en examine l'ensemble on reconnaît que le succès a répondu, comme à Vialas, à Poullaouen, à Pontgibaud aujourd'hui, à Villefranche dans l'Aveyron, etc., à la persévérance et à la bonne direction des travaux et que partout ailleurs on n'a pu signaler généralement que l'impéritie la plus grande ou un défaut de constance qui ne pouvait conduire qu'à de mauvais résultats.

On peut appliquer à un grand nombre de ces derniers travaux ce qu'en 1750 écrivait Hellot[1], membre de l'Académie des sciences.

« Il y en a, disait-il, pour qui la découverte d'un filon riche et large, bien « réglé, est une perspective de produits si séduisante qu'ils ne croient « plus l'économie nécessaire: ils montent la dépense de leurs établisse- « ments sur un ton outré et ridicule; ils emploient six fois plus de com-

1. *De la Fonte,...* traduction de Schlutter.

« mis et d'ouvriers qu'il n'en faut. Le filon se coupe, ceux qui dirigent « ignorent le moyen de le retrouver; on se déconcerte, on a dissipé folle- « ment les fonds que la première richesse avait promis. On craint, dans « cette incertitude, de faire de nouvelles avances, on congédie les ou- « vriers et on abandonne le tout. De là le discrédit des mines dans le « royaume; et cependant si tout était réglé par les entrepreneurs avec « prudence et conduit avec économie, il est très-sûr qu'on retirerait des « mines un parti tout aussi avantageux pour l'État et pour les particu- « liers, qu'en Saxe, en Bohême et en Hongrie, où les filons ne sont riches « que par la bonne administration.

« La plupart de ceux qui obtiennent le privilége exclusif de travailler « une ou plusieurs mines s'imaginent que c'est une route rapide à la « fortune et, dès qu'au bout de deux ou trois ans ils ne trouvent pas « l'intérêt de leur argent à 30 ou 40 pour 100, ils se dégoûtent et prennent « le parti inconsidéré de tout abandonner. S'ils se fussent restreints à « 15 ou 20 pour 100, ils eussent continué et les auraient trouvés. »

Ajoutons maintenant que, dans la plupart des cas, on s'est trouvé en présence de travaux anciens plus ou moins développés, et que, à de très-rares exceptions près, on n'a rien fait pour pénétrer au dessous de ces travaux, et y chercher la richesse abandonnée dans d'autres temps.

C'était cependant là la seule voie pratique à suivre, et d'autant mieux, que partout où on a travaillé avec persévérance à la suite de travaux anciens étendus, on est parvenu à reconnaître l'existence des minerais riches dans la profondeur ou autour d'eux.

Le tableau rapide que nous venons de retracer nous paraît très-rapproché de la vérité, et nous semble représenter assez exactement le mouvement de l'industrie des mines métalliques dans notre pays depuis les temps les plus reculés jusqu'à aujourd'hui.

Nous devrions nous arrêter ici, mais quand nous réfléchissons sur cette grave question de la reprise des mines métalliques de France, nous sentons qu'il est une nature d'objections auxquelles il paraît nécessaire de répondre.

Ainsi, nous avons bien vu que l'anéantissement des mines de France devait être particulièrement attribué à des événements politiques indépendants de leur richesse, ou au défaut de combustible et des voies de communication, mais cependant ce n'est pas là la cause à laquelle on l'attribue généralement : on croit souvent encore que cet anéantissement a été la conséquence de la découverte de l'Amérique et des variations dans les prix des métaux et de la main-d'œuvre; on croit souvent, enfin, qu'on ne pourrait pas, par exemple, exploiter aujourd'hui avec avantage les mines que l'on travaillait utilement au moyen âge.

Nous croyons que ces opinions sont basées sur des appréciations inexactes ou insuffisantes des faits eux-mêmes, et on ne nous saura pas

mauvais gré de dire rapidement, à cet égard, ce que l'étude de la question nous suggère, quelque complexe qu'elle soit.

Les faits qui se passent aujourd'hui sous nos yeux semblent déjà démontrer combien ces opinions sont peu fondées.

Nous voyons en effet que les mines de l'Allemagne ont progressé sans discontinuité depuis le douzième ou le treizième siècle jusqu'à nos jours, malgré les variations de la main-d'œuvre ou celles du prix des métaux, sans qu'elles fussent d'une richesse exceptionnelle, et aujourd'hui on y poursuit les gisements dans les plus grandes profondeurs en y profitant des connaissances acquises et de l'accumulation de travaux séculaires.

L'Angleterre travaille aussi les mines depuis des siècles et, dans le siècle actuel, on y a repris un grand nombre de mines, sans que les filons qu'elle possède soient bien différents de ceux de la France, et sans que les variations de la main-d'œuvre ou du prix des métaux aient exercé aucune influence préjudiciable sur le développement de ces mines.

Un tel état de choses provient de l'esprit des exploitants qui, pendant que l'industrie minérale française était anéantie, soit par suite de l'explosion des guerres religieuses, soit pour d'autres causes, surent utiliser avec profit les progrès qui se réalisaient dans l'art de l'exploitation des mines, progrès qui leur permettaient de suivre, sans en souffrir, l'élévation croissante du prix de la main-d'œuvre.

Enfin, ne voyons-nous pas de nos jours mêmes, et sur notre sol, plusieurs mines utilement productives et dont le travail actuel démontre d'une manière indiscutable que l'on peut aussi bien les exploiter aujourd'hui qu'anciennement. Nous allons cependant tâcher de le prouver encore en montrant les différences économiques qui peuvent exister entre les exploitations anciennes et les exploitations de notre temps.

Au moyen âge et jusqu'au dix-septième siècle, les travaux étaient entravés par deux causes principales :

1° L'emploi du feu qui les remplissait de mauvais air ou d'air irrespirable;

2° Les redevances à payer aux seigneurs.

Ces premiers moyens de travaux diminuaient à un très-haut degré le produit utile de chaque mineur et élevaient beaucoup, par ce fait, le prix de revient. Déjà en 1770[1] un mineur qui a rendu de grands services en France, montrait, pour une des mines qu'il exploitait dans les Vosges, que l'application de la poudre avait triplé le travail utile du mineur du douzième siècle, et, en raison de la perfection des machines ou de l'outillage et des corps explosifs, il n'y a pas d'exagération à admettre aujourd'hui que ce même travail est devenu cinq ou six fois plus grand

1. *De la Fonte des mines*, par de Genssane.

qu'au moyen âge, ou, ce qui revient au même, que le prix de revient est aujourd'hui cinq ou six fois moins grand.

Ainsi, déjà nous devons reconnaître que les améliorations apportées dans les éléments de travail ont donné lieu à une certaine compensation des différences de la main-d'œuvre.

Mais nous pensons encore que l'on se fait d'étranges illusions sur ce que pouvaient être à diverses époques le prix des métaux, le chiffre de la main-d'œuvre et les bénéfices des concessionnaires.

Pour ce qui concerne le prix des métaux, s'il est vrai que dans certains cas quelques mines ont dû être fermées par suite de la baisse de ce prix, comme le furent, vers 1840, quelques mines de plomb de l'Ardèche, on peut néanmoins considérer d'une manière générale que les variations de prix n'ont exercé qu'une influence très-peu active sur certaines mines.

Si, en effet, on étudie, pour les mines de plomb argentifère, par exemple, mines qui sont les plus nombreuses en France, quelles furent les variations du prix de l'argent depuis le douzième siècle jusqu'à aujourd'hui, d'après les documents que nous a donnés M. Leber[1] et que l'on cherche quel fut en même temps le mouvement des mines, on reconnaît :

Que beaucoup de mines du moyen âge en France et en Allemagne furent fermées malgré la hausse croissante de l'argent, hausse qui n'était qu'une conséquence des événements politiques.

Que beaucoup de mines du même genre furent ouvertes dans le cours du quinzième et du seizième siècle, malgré la dépréciation croissante de l'argent; elles ne cessèrent pas d'être travaillées et, si nous nous en rapportons aux notes de MM. Kœchlin et Delbos[2], nous voyons que les mineurs des Vosges, longtemps avant que les mines fussent suspendues violemment, ne vendaient pas l'argent plus de 115 fr. le kilogramme.

Enfin, nous voyons d'une manière bien claire, et nous pourrions faire la même démonstration pour les autres métaux, que les fluctuations du prix de l'argent n'ont été qu'une des causes secondaires dans l'abandon et dans le délaissement des mines.

Voyons maintenant si la main-d'œuvre a été réellement aussi basse qu'on le suppose vers le douzième et le treizième siècle. Sans doute, à cette époque, le travail qui se donnait sous l'influence de l'exaltation religieuse pouvait être acquis à très-bas prix, mais il ne devait pas en être ainsi du travail proprement dit, dans un temps où la nation avait repris une vie plus active que jamais, et où la création d'établissements industriels était devenue « le besoin et la gloire des bourgeoisies[3]. »

1. Appréciation de la fortune privée au moyen âge.
2. Géologie du Haut-Rhin.
3. Leber.

D'après de nombreux documents on voit, en effet, qu'en Italie, au temps des républiques, la journée d'un ouvrier des mines se payait 0 fr. 81, et elle ne devait pas être moindre en France.

En 1390 nous voyons des prix de journée de 2 sous 1 denier, et 2 sous 11 deniers aux mines que le duc de Bourbon faisait rechercher dans le département de la Loire ; or, si on considère que le sou a une valeur variable comme le prix de la livre, depuis Charlemagne jusqu'à nos jours, et si on remarque qu'à l'époque dont nous parlons la livre valait, poids pour poids, environ 14 fr. 30 de notre monnaie, on reconnaîtra que le prix de la journée, dans le cas dont nous parlons, était de 1 fr. 48 à 2 fr. 07, abstraction faite du pouvoir de l'argent, prix que nous retrouvons encore dans le dix-neuvième siècle, et actuellement même sur bien des points de la France.

C'est vraisemblablement sous le règne de Louis XIV que la main-d'œuvre fut la plus basse. A cette époque l'ouvrier gagnait à peine et souvent ne gagnait pas le pain nécessaire à sa subsistance; il fallait dans certains moments, d'après M. Moreau de Jonnès[1], 83 journées d'un homme pour payer un hectolitre de blé, tandis que depuis le commencement du siècle actuel, il n'en a généralement pas fallu plus de dix, et dans ces temps où la main-d'œuvre était pour rien, où les prix des métaux n'avaient pas sensiblement varié, l'industrie minérale était complétement anéantie.

Nous voyons donc que si en réalité il nous est bien difficile d'apprécier exactement la valeur de la main-d'œuvre aux diverses époques reculées de notre histoire, nous pouvons cependant juger que bien des idées, à cet égard, peuvent être renversées, et que cette main-d'œuvre n'a pas été aussi basse qu'on le croit généralement. Tout nous porte à croire qu'elle a varié selon les temps, selon le plus ou moins d'activité des travaux publics, que par conséquent elle devait être assez élevée pendant le moyen âge où les mines étaient le plus en activité, et qu'il n'existe pas, à ce point de vue, autant de différence qu'on le suppose entre l'exploitation de ces mines à cette époque et celle des temps actuels.

Les redevances tendaient aussi à peser d'un poids bien lourd sur les bénéfices des mines. Elles étaient généralement énormes et atteignaient souvent 50, 30 et 20 pour 100, et presque jamais moins de dix, prélevés sur les produits bruts.

Ces redevances étaient quelquefois si fortes que les mineurs des Vosges, dans le seizième siècle, ne percevaient pas, à certains moments, plus de 22 pour 100 des bénéfices totaux[2].

Ainsi, en résumé, l'imperfection du travail, un prix de main-d'œuvre

1. *État économique et social de la France de* 1589 *à* 1715, par Moreau de Jonnès.
2. Géologie du Haut-Rhin.

plus élevé qu'on ne le suppose, et des redevances énormes, tendant tout à la fois à accroître les prix de revient et à amoindrir les bénéfices, sont autant de circonstances qui permettent de croire qu'à l'aide des forces nouvelles que nous possédons nous pouvons aujourd'hui exploiter les mines anciennes avec avantage, et qui expliquent comment, en effet, ces exploitations se pratiquent utilement malgré l'élévation actuelle de la main-d'œuvre.

Il est pourtant encore une autre considération qu'il n'est pas inutile de rappeler ici. C'est à l'époque du moyen âge que se formèrent les corporations et, d'après ce que l'on sait sur les exploitations anciennes, en France, en Allemagne et en Italie, les mineurs constituaient des associations, telles que peuvent être aujourd'hui celles des tributaires des mines anglaises, qui prélevaient en quelque sorte leur salaire et le payement des objets nécessaires sur le produit même des mines. Cette organisation et ces usages particuliers, que nous retrouvons encore aux mines de Rancié, dans l'Ariége, où les usages actuels remontent au douzième siècle, étaient une conséquence des tendances sociales de l'époque, tendances qui se transformèrent de plus en plus et complétement vers le seizième et le dix-septième siècle, quand le pouvoir monarchique absolu se fut placé sur les ruines de la féodalité; malgré les inconvénients que ces sortes d'institutions pouvaient faire naître dans la pratique, on peut croire, avec beaucoup de raison sans doute, que les événements qui détruisirent ces associations en France portèrent un coup funeste à l'industrie minérale, et furent encore, sous ce rapport, une des grandes causes de l'anéantissement de cette industrie.

Quoi qu'il en soit, si on recherche comment les produits des mines étaient distribués à l'époque de ces associations de mineurs, on reconnaît encore que, par le fait même de leur existence, la main-d'œuvre devenait très-élevée.

Nous en avons un exemple très-net, aux mines de Chitry dans la Nièvre, exploitées depuis 1492, jusqu'au moment où les conflagrations religieuses se firent sentir. Les produits y étaient ainsi répartis :

Les ouvriers recevaient 8/10 pour les frais de la mine[1];
Pour le roi 1/10;
Pour les officiers 1/60;
Pour le concessionnaire, propriétaire des lettres royales et des usines, 5/60.

Or, si on applique aux mines actuelles cette organisation qui évidemment n'était alors que la suite d'anciens usages pratiqués dans beaucoup d'endroits de l'Europe et encore pendant le dix-septième siècle aux mines de la chaîne des Vosges, on reconnaît que les bénéfices

1. Anciens minéralogistes.

réalisés dans le siècle actuel sont six à sept fois[1] plus considérables qu'ils n'étaient alors et que, par conséquent, s'il est vrai que dans ces temps reculés on pouvait, avec une somme donnée, se procurer beaucoup plus d'objets qu'aujourd'hui, il est également vrai que les produits obtenus actuellement dans les mêmes circonstances permettent de satisfaire à peu près aux mêmes besoins.

En réalité les prix de revient sont devenus beaucoup moins élevés, les bénéfices beaucoup plus grands et par conséquent, si cela n'était déjà démontré par les faits qui se passent sous nos yeux, nous trouverions encore là un argument tendant à prouver que l'on peut aujourd'hui travailler les mines de la France avec profit, tout aussi bien qu'autrefois.

En admettant donc que les chiffres que nous venons de donner ne soient pas rigoureusement exacts, ils prouvent au moins, ce nous semble, au point de vue pratique, qu'il pourrait être dangereux pour le développement de l'industrie minérale de notre pays de porter des jugements défavorables sur la valeur des mines d'après des idées préconçues ou non suffisamment étudiées. Tout cela prouve, enfin, qu'il convient de s'en tenir uniquement aux faits que l'on observe, qu'il ne faut rien repousser sans étude, et que l'on pourra marcher hardiment toute les fois que l'on se trouvera en présence de travaux du moyen âge ou du seizième siècle très-développés, quand les calculs sur les conditions économiques, dans leur état actuel, auront donné des résultats satisfaisants.

Que l'on multiplie en France les voies de communication, que l'on facilite les moyens de transport dans les montagnes, et on verra bientôt

1. Si nous appliquons ce système aux mines de Vialas, dont les frais et les produits nets nous ont été indiqués par M. l'ingénieur Lan, pour l'année 1855, dans les *Annales des mines*, nous trouvons qu'une extraction produisant annuellement 1000 tonnes de minerai bon à fondre aurait fourni les résultats comparatifs suivants :

Produit en 1855.		Produit en 1550.	
480 tonnes de plomb à 50^{f} % kil.	240 000^{f}	480 tonnes de plomb à 44^{f}	211 200
1520 kilos d'argent à 220 fr......	334 400	1520 kilos argent à 170 fr.	258 400
	574 400		469 600
Dépenses à 320 fr. par tonne.....	320 000	8/10 aux ouvriers........	375 680
Produit net et bénéfices aux		1/10 pour le Roi.........	49 960
concessionnaires..............	254 400	1/60 pour les officiers.....	7 826,6
Produits en 1550 aux mêmes prix.		5/60 pour le concessionnaire.	39 133
574 400 francs.			469 599,6
8/10 aux ouvriers........	459 520		
1/10 pour le Roi.........	57 440		
1/60 pour les officiers.....	9 573,3		
5/60 aux concessionnaires..	47 866,5		

On voit donc que le concessionnaire de 1855 a touché de six à sept fois plus que celui de 1550, et que la main-d'œuvre a eu dans le XVIe siècle une part beaucoup plus large que dans le XIXe.

reprendre beaucoup de travaux anciens et se multiplier ces exploitations qui souvent n'ont manqué ou failli jusqu'à présent que par suite de causes étrangères à la richesse intérieure du sol.

Nous allons maintenant passer successivement en revue les mines des Vosges, de la Bretagne, du plateau central, des Alpes et des Pyrénées.

I

Groupe des Vosges et Jura.

En 1798, Mulhouse, l'ancienne alliée des treize cantons de la Suisse, l'ancienne ville libre, envoyait des députés au Directoire pour lui exprimer les vœux de ses habitants et se donnait à la France.

En 1681, Strasbourg, l'ancien *Argentoratum* des Gaulois *Triboci*, devenue, par force, ville impériale allemande en 1205, ouvrait spontanément ses portes à Louis XIV et devenait ville française.

En 1552, Metz, l'ancienne capitale du royaume de Metz et du royaume d'Austrasie, qui, en 452, avait été ravagée par les hordes du Nord, était réunie à la France et soutenait victorieusement la lutte contre l'empereur Charles-Quint.

Aujourd'hui (1872), ces pays, si français de cœur et d'intérêts, n'appartiennent plus à la France; en 1871, ils ont été séparés violemment de leur patrie de prédilection, et ils font partie de l'empire d'Allemagne dont ils avaient combattu la domination dans tous les temps.

Les descriptions que nous aurions pu écrire naguère encore ne sont donc plus celles que nous devions donner aujourd'hui; nous sommes donc malheureusement obligés de restreindre notre étude à la partie de la chaîne des Vosges que la France a conservée; mais cette partie, on peut le dire, est encore bien riche au point de vue des substances métallifères, et par conséquent elle offre un très-grand intérêt.

Nous y joindrons seulement quelques documents relatifs aux mines de Sainte-Marie-aux-Mines, maintenant allemandes, situées sur le versant du Rhin, dans le val de Liepvre, parce que, en vertu d'un article additionnel au traité de paix de 1871, ces mines, ne cessant pas d'appartenir à leurs concessionnaires, conservent les avantages et les charges qui,

pour elles, découlent de l'application de la loi française de 1810 sur les mines.

En parcourant aujourd'hui les montagnes des Vosges et en ne les observant que d'une manière superficielle, on croirait difficilement que l'industrie des mines y a été très-développée et que, durant des siècles, on en a extrait des quantités importantes d'argent, de cuivre, de plomb et de fer.

Quand Jean-Georges Rœber vint, en 1755, fonder, à Sainte-Marie-aux-Mines, l'industrie du tissage et de la teinture, il était certainement bien loin de prévoir tout le développement que cette industrie nouvelle devait acquérir un jour dans ces contrées, et qu'elle était appelée à remplacer et presque à faire oublier l'industrie métallurgique qui y régnait avant elle.

Cependant le souvenir de cette dernière industrie n'est pas éteint; il s'est perpétué dans les familles avec des usages anciens que l'on retrouve encore aujourd'hui; et, s'il était oublié, si les historiens du seizième et du dix-huitième siècle n'en avaient pas parlé, il suffirait de parcourir les montagnes et d'y voir les ouvertures des galeries encore béantes, les haldes et les déblais sur les pentes, les ruines d'anciens établissements, pour avoir la certitude que des mines y ont été l'objet d'exploitations prolongées.

Malgré tous les renseignements fournis par les auteurs contemporains, à diverses époques, ou ceux qui ont été recueillis dans les archives locales, je crois qu'on ne possède véritablement aujourd'hui qu'une idée fort incomplète de l'extension et du nombre des travaux exécutés jadis dans la chaîne des Vosges. On sait qu'il y a eu plusieurs périodes d'exploitation qui se rapportent au dixième, au douzième, au seizième, au dix-huitième et au dix-neuvième siècle, mais on ne connaît que bien peu de chose relativement aux anciens travaux, et l'on serait probablement beaucoup au-dessous de la vérité si on estimait à moins de 50 kilomètres la longueur des galeries de service creusées sur les deux versants de ces montagnes, dans l'espace compris entre la vallée de la Moselle et les contreforts méridionaux de la Haute-Saône et du Haut-Rhin-Belfort.

Nous retrouverions la même incertitude si nous voulions chercher à nous rendre compte des produits en argent, plomb, cuivre et or extraits de ces mines pendant les diverses périodes de leur exploitation.

Nous savons que des fonderies ont existé à Plancher-les-Mines, à Giromagny, à Lacroix-aux-Mines, à Saint-Maurice, à Wissembach, sur la terre de Saulcy, dans les Vosges; sur les rives de l'Oignon et du Rahin, et dans le val de Liepvre; nous savons qu'à partir du seizième siècle il y eut plus de cent ans d'une activité et d'une administration régulières et continues, et que des princes allemands, les ducs de Lorraine et les

rois d'Espagne en tirèrent des revenus importants; mais c'est là tout ce qui est à notre connaissance.

Il existe des états de production pour quelques mines dans les derniers siècles, et quelques-uns de ces états indiquent des pertes. Mais quand nous voyons, malgré cela, persister les travaux, et quand nous rapprochons une telle situation des droits que les exploitants devaient payer aux seigneurs, droits qui, dans quelques cas, ne laissaient aux exploitants que 22 pour 100 sur les bénéfices[1], nous sommes porté à croire, ainsi que l'on paraît en avoir conservé le souvenir, que, pour certaines exploitations, la contrebande des minerais riches se faisait sur une grande échelle. Cette idée est tout à fait naturelle, car personne n'ignore que l'élévation des droits fait rechercher, par une foule d'hommes, tous les moyens d'en éluder le payement.

Sans entrer dans d'autres détails à cet égard, et en nous rappelant les mille circonstances diverses qui peuvent modifier l'existence d'une exploitation minérale, nous dirons que nous croyons ne devoir tenir que bien peu de compte des états incomplets qui nous restent relativement à la production, et nous devons principalement chercher l'importance des gisements métalliques de ces contrées dans leur manière d'être, dans la nature des roches qui les enveloppent, ou dans l'étude des travaux dont ils ont été l'objet.

PRINCIPALES MINES ET PRINCIPAUX GISEMENTS CONNUS :

Département du Haut-Rhin-Belfort.

Mines de *Giromagny :* plomb, cuivre et argent; concession de 1843 sur 2,916 hectares.

Mines d'*Estuffont*, près Giromagny; anciens travaux.

Département de la Haute-Saône.

Mines de *Faucogney :* manganèse; concession de 1848 sur 532 hectares.
— d'*Esmoulières :* manganèse; concession de 1848 sur 508 hectares.
— de *Plancher-les-Mines :* plomb, cuivre, argent, or; anciens travaux.
— de *Cramaillot*, sur le Rahin; anciens travaux.
— de *Saint-Antoine*, sur le Rahin; anciens travaux.
— de *la Vieille-Hutte*, sur le Rahin; anciens travaux.
— de *Montménard :* près d'Auxelles; anciens travaux.
— de *la Montagne du Chêne* (Duhamel).
— de *la Montagne de la Montignotte*.
— de *Château-Lambert :* cuivre; anciens travaux.
— de *Ternuay :* galène argentifère; anciens travaux.

1. Kœchlin et Delbos. — *Documents.*

Mines de *Fresse;* anciens travaux.
— de *Mont de Vannes :* cuivre, plomb et argent; anciens travaux.
— de *la Mer*, près Faucogney : cobalt argentifère.
— de *Saint-Bresson :* plomb.

Département des Vosges.

Mines de *Lacroix-aux-Mines :* argent, plomb, cuivre; concession de 1806 sur 4,200 hectares; anciens travaux.

Mines du *Tillot :* cuivre; anciens travaux.
— de *Bussang :* cuivre et argent; anciens travaux.
— de *Fraisse* et environs : cuivre; anciens travaux.
— du *Baudy :* plomb; anciens travaux.
— de *Remémont :* cuivre et plomb; anciens travaux.
— de *Remiremont.*

Alsacé-Lorraine.

Mines de *Sainte-Marie-aux-Mines :* argent, plomb, cuivre; concession de l'an IV sur 4,300 hectares.

Tous les renseignements relatifs à la chaîne des Vosges sont, en majeure partie, extraits des ouvrages suivants :

Journal des Mines, an VI. — *Description des mines de Giromagny et de Plancher*, par Duhamel.

Anciens minéralogistes : *Sur les mines d'Alsace et du comté de Bourgogne*, par de Genssane. 1756.

Thierry Alix, président de la chambre des comptes de Lorraine. 1594.

Des principales mines d'Alsace, par d'Hérouville. 1741.

Des mines du val de Liepvre, par Sébastien Munster. 1550.

Atlas minéralogique, par Monnet. 1780.

Description des gîtes de minerais et des bouches à feu de la France, par Dietrich. 1783.

Coup d'œil sur les mines, par Élie de Beaumont. 1826.

Texte de la *Carte géologique de France*. 1841.

Carte géologique des Vosges, par M. de Billy. 1848.

Note inédite de M. de Billy, ingénieur en chef des mines, *sur les mines du val de Liepvre*. 1834.

Description géologique et minéralogique du département du Haut-Rhin, par Joseph Delbos et Kœchlin. 1865.

MINES DE GIROMAGNY (HAUT-RHIN-BELFORT) ET ENVIRONS, ET MINES DE PLANCHER-LES-MINES (HAUTE-SAÔNE).

Nous réunissons dans un même ensemble les mines de Giromagny et de Plancher, parce que ces mines se trouvent dans un même groupe montagneux.

Elles appartiennent à la partie la plus méridionale de la chaîne des Vosges, et elles sont concentrées dans ces chaînons, aux formes remarquables, qui descendent du ballon d'Alsace, que tous les voyageurs connaissent, d'où l'on aperçoit les cimes blanches des Alpes ou du Jura, d'où le regard peut plonger dans les vallées du Rhin, de la Saône et de la Moselle.

Formations géologiques. — On distingue dans cette contrée, particulièrement à notre point de vue, deux terrains dominants:

1° La syénite qui forme le sommet, les escarpements et les rudes pentes du ballon d'Alsace, qui lance ses ramifications jusque vers la Meurthe ou vers d'autres sommités des Vosges;

2° Un terrain schisteux, souvent durci et métamorphisé, que MM. Kœchlin et Delbos désignent sous le nom de *grauwacke,* en le rattachant au terrain carbonifère inférieur, mais qui paraît, en grande partie, devoir appartenir au terrain dévonien. Les couches de ce terrain, redressées ou repliées, souvent verticales, viennent s'appuyer sur la syénite du ballon d'Alsace.

C'est sur ce groupe, pour ainsi dire central, et d'une grande puissance, que viennent ensuite reposer les couches permiennes et secondaires que l'on voit à la base des montagnes, dans la Haute-Saône comme à Belfort, et parmi lesquelles domine le grès rouge.

Pendant longtemps on avait considéré les environs de Giromagny et ceux de Plancher-les-Mines comme présentant un développement considérable de porphyres, et particulièrement de porphyres que M. Élie de Beaumont distinguait sous le nom de porphyre brun; mais les études postérieures doivent faire considérer comme roches sédimentaires métamorphiques et faire classer dans le terrain dévonien, ou dans le terrain carbonifère, la plupart de ces roches à pâte petrosiliceuse et avec cristaux feldspathiques que l'on rencontre si fréquemment dans cette partie des Vosges.

On trouvera encore, comme au pied du mont Jean, près de Giromagny, etc., des grès modifiés, passés à l'état d'arkoses, qu'on prendrait pour des Leptynites, et en même temps des spilites, des mélaphyres et des porphyres quartzifères à pâte blanche, grisâtre, rouge ou brunâtre, compacte, grenue ou cristalline, comme entre les vallées de Giromagny et de Massevaux, ou sur la limite du département de la Haute-Saône, qui, momentanément cachés par les terrains qui les recouvrent, vont apparaître encore au loin et former quelques-uns des sommets pittoresques des montagnes de Faucogney ou de celles de Fresse et de Saint-Bresson.

Toute cette contrée présente une variété considérable de roches diverses, ayant les plus grands rapports les unes avec les autres; ces roches, particulièrement étudiées par M. Delesse, manifestent partout les

effets d'actions métamorphiques puissantes, et lorsquon voit le ballon d'Alsace, dont la croupe syénitique domine toute la contrée, on n'est pas surpris de reconnaître autour de lui une sorte d'auréole métallifère qu'indiquent les anciens travaux des mines, à Bussang, Château-Lambert, sur les versants du Rahin et de la Savoureuse, dans la vallée de Saint-Amarin, etc.

Enfin, l'imagination n'a pas besoin de s'échauffer pour entrevoir, dans ces localités, le travail multiséculaire des temps qui a concentré en une foule de points les substances métalliques répandues dans les roches anciennes et les a mises à la portée de l'homme, suivant une multitude de lignes qui se cherchent et se croisent en s'enrichissant.

FILONS DE GIROMAGNY ET DE PLANCHER-LES-MINES.

On est loin de connaître tous les filons de Giromagny et de Plancher; les remarquables montagnes de ces contrées sont traversées, ainsi que le disait de Genssane, l'un des savants mineurs du dix-huitième siècle, par une multitude de filons; on n'en connaît qu'un certain nombre dont les noms ont été conservés par la tradition et nous ont été désignés par Duhamel (an VI).

Les détails indiqués dans cette note, bien que remontant à près de quatre-vingts ans, sont encore aujourd'hui, à peu de chose près, les mêmes; car, ainsi que nous le verrons plus loin, les travaux exécutés sur ces filons, depuis cette époque, ont été à peu près insignifiants.

FILONS CONNUS A GIROMAGNY.

Commune de Giromagny.

Filon *Saint-Pierre :* argent gris, cuivre, plomb; N. 60 à 75 E.; travaux considérables s'étendant à 418 mètres de profondeur.

Filon *Lacave :* plomb; N.-S.

— *Phennigthurn :* argent gris, cuivre, plomb; N.-S.; travaux très-étendus.

Filon *Saint-Louis :* N.-S.

— *le Solgat :* N.-N.-E., S.-S.-O.

— *Saint-Nicolas :* argent gris, cuivre; N.-N.-E., S.-S.-O.

— *Saint-Daniel :* cuivre et argent; N.-N.-E., S.-S.-O.

— *Teutschgrund :* cuivre et argent; N.-S.; travaux étendus sur 15 à 1,800 mètres; profondeur inconnue, probablement 290 mètres, hauteur de la montagne.

Commune du Puix.

Filon *Saint-Georges :* argent gris; E.-O.

— *Sainte-Barbe :* argent, cuivre, plomb; N.-S.

Filon *Saint-André :* plomb ; N.-S.
— *Saint-Paul :* plomb ; N.-S.
— *Saint-Nicolas-des-Bois :* plomb ; N.-S.
— *Saint-François :* plomb ; N.-E., S.-O.
— *Saint-Michel :* plomb ; N.-S.
— *Sainte-Marie :* plomb ; N.-S.
— *les Trois-Rois :* plomb, cuivre ; N.-S.
— *Schlick :* cuivre ; N.-S.
— *Saint-Jacques :* plomb, argent ; N.-S.
— *la Goutte-Colin :* plomb ; N.-S.
— *Sainte-Claire :* cuivre ; N.-S.

Commune d'Auxelles-Haut.

Filon *Sainte-Barbe :* plomb, zinc ; E.-O. ; montagne de la Suisse.
— *Schelmutte :* plomb ; E.-O.
— *Geselschaft :* argent, cuivre, plomb ; N.-S. ; travaux considérables inconnus.
Filon *Saint-Philippe :* cuivre, fer carbonaté ; N.-E., S.-O.
— *Saint-Urbain :* plomb ; N. 60 à 75 E.
— *Saint-Martin :* plomb ; E.-N.-E., O.-S.-E.
— *la Bagrelle :* plomb, cuivre ; N.-S.
— *Saint-Jacques :* inconnu.
— *l'Homme-Sauvage :* plomb.
— *Saint-André :* plomb, argent, cuivre.
— *Saint-Jean :* plomb, argent ; N.-N.-O., S.-S.-E. ; travaux très-étendus, jusqu'à 400 mètres de profondeur.

MINES DE PLANCHER-LES-MINES (HAUTE-SAONE).

Filon de *la Grande-Montagne :* plomb, cuivre, argent ; travaux considérables s'étendant au-dessous de la vallée.
Filons *Sainte-Barbe et Saint-Jacques :* plomb, cuivre, argent.
— *Notre-Dame :* plomb, cuivre, argent.
— *Loury :* plomb, cuivre, argent et or.

HISTORIQUE DES MINES DE GIROMAGNY ET AUXELLES.

L'origine des mines de Giromagny se perd dans la nuit des temps. Suivant toute apparence, leur exploitation doit avoir concordé avec celle des mines de Plancher, et ce rapprochement nous permet d'admettre que cette exploitation pouvait être en pleine activité dans le courant du douzième siècle.

Non-seulement nous pouvons en juger ainsi d'après les souvenirs historiques qui nous rappellent l'activité minière répandue dans toute

l'Europe pendant le moyen âge, mais nous avons pu voir, à Plancher, des pierres anciennes sculptées, portant la date de 1123, à côté des insignes du mineur et du fondeur, les pics, la hache, le briquet et le creuset, qui ne laissent aucun doute à cet égard.

Cependant les plus anciens documents qui s'y rapportent sont du temps de la possession allemande, et consistent en lettres de l'archiduc Maximilien, roi des Romains, de 1506 à 1518, nommant un juge des mines à Massevaux.

Ce juge, qui devait veiller particulièrement aux intérêts de la maison d'Autriche et avoir sous sa juridiction tous les ouvriers mineurs qui ne dépendaient pas du droit commun, exerça ces fonctions spécialement pour Giromagny vers le milieu du seizième siècle.

Dans le même temps, on nommait des essayeurs jurés pour Auxelles-Haut et Giromagny, et le seigneur d'Auxelles conserva dans sa famille, jusqu'à la fin de l'occupation allemande, les fonctions d'inspecteur des mines.

Cette organisation administrative semble donc indiquer que ces mines devaient avoir une certaine importance durant le seizième siècle.

Pendant cette période, l'archiduc percevait le neuvième du produit brut des mines, soit environ 11 pour 100 [1].

1578. Les mines sont exploitées par une seule maison, à l'exception de quelques-unes que s'était réservées l'archiduc.

Le gouvernement autrichien percevait alors 19 pour 100 du minerai extrait, plus 1/2 florin par marc (244 grammes) d'argent fin que l'on monnayait à Ensisheim.

Ces droits, et ceux qu'il fallait payer encore à des seigneurs possédant des enclaves dans le territoire des mines, ne laissaient à l'exploitant, dans les meilleurs moments, que 22 pour 100 sur les bénéfices de l'exploitation.

Malgré des droits si onéreux, ces mines furent travaillées activement pendant près de cent ans, d'une manière continue, de 1506 à 1612.

Nous voyons ici un exemple saisissant des énormes charges qui pesaient alors non-seulement sur ces exploitations, mais encore sur la plupart de celles de l'Europe; ces charges, unies à l'approfondissement croissant des travaux, expliquent bien des abandons à cette époque, et on comprend que leur affranchissement et la perfection des moyens compensent aujourd'hui l'élévation de la main-d'œuvre et permettent de reprendre avantageusement un grand nombre des anciennes mines.

Dans le cas de Giromagny, il est difficile de comprendre la continuité persistante de l'exploitation avec de telles charges et dans des temps où, comme à la fin du seizième siècle, l'argent et le cuivre avaient une valeur bien moindre que dans les temps antérieurs, qu'en admettant ou

1. *Documents.* — Kœchlin et Delbos.

une grande abondance et une grande richesse des minerais, ou, comme nous l'avons dit, la contrebande de ces minerais sur une grande échelle.

Cette seconde interprétation est d'autant plus vraisemblable qu'en 1676 des documents contentieux constatent l'expédition et le transport de quantités de minerais hors du comté et vers Cologne, et le souvenir de ces expéditions clandestines existe encore dans les traditions locales.

Quoi qu'il en soit de cette idée, il est difficile de ne pas reconnaître que ces mines, dans leur ensemble, devaient présenter un haut degré de richesse dans le courant du seizième siècle.

En 1591, l'argent se vendait au prix de 13 à 13 1/2 livres badoises (2 fr.) le marc de 244 grammes [1], c'est-à-dire seulement à raison de 110 francs le kilogramme.

Le cuivre ne valait que 15 à 17 livres le quintal.

Cet abaissement des prix, l'approfondissement des mines et les nécessités croissantes d'épuisement durent forcément occasionner le ralentissement des travaux. C'est ce qui semble être arrivé en 1608 : à ce moment, les fonds étaient inondés, mais pourtant on poussait avec vigueur une nouvelle galerie pour atteindre le filon de *Teutschgrund*.

1612 à 1630. L'exploitation continue, mais elle cesse d'être aussi productive qu'elle l'avait été dans les années antérieures.

Pendant cette période, on tira 37,839 marcs d'argent et de 10,000 à 12,000 quintaux de cuivre.

L'argent se vendait alors au prix de 14 à 15 florins le marc, ou environ de 140 à 150 francs le kilogramme.

Le cuivre était vendu au prix de 25 florins le quintal, soit environ 1,150 francs la tonne.

1632. Les mines de Giromagny et d'Auxelles occupent 231 ouvriers dont 93 mineurs, appliqués à *Saint-Jean*, *Teutschgrund*, *Geselschaft*, *Saint-Pierre* et *Pfennigthurm*.

1633. Les travaux sont envahis par les Suédois, vers la fin de la guerre de Trente-Ans; les lingots furent pillés, les constructions incendiées, et les mines passèrent à l'état le plus précaire jusqu'en 1638, époque à laquelle elles furent totalement abandonnées.

A la suite de ces événements, la plupart des ouvriers émigrèrent; les mines furent reprises quelques années plus tard : mais depuis ces grands désastres, unis à l'approfondissement des travaux, elles n'ont jamais retrouvé leur ancienne activité.

C'est vers cette époque que ces mines passèrent à la France.

1651. Le comte Charles de Broglie, gouverneur de Belfort, enjoignit la restauration des mines et des étangs, ainsi que la reprise régulière du travail.

1. Kœchlin et Delbos.

1659. Quelques années plus tard, le comté de Belfort et de Rosemont était donné par Louis XIV à Mazarin.

A partir de ce moment, les mines de ces localités entrent dans de nouvelles phases qui seront loin d'être heureuses.

1661-1716. Pendant cet intervalle de plus de cinquante ans, les mines sont amodiées à très-court délai, en même temps que la jouissance des minerais de fer; mais les documents de cette époque constatent que cette dernière n'avait qu'une faible importance.

Des contrats sont passés avec plusieurs compagnies qui se succèdent, et on voit se perpétuer un conflit entre l'administration du duc de Mazarin, qui veut aménager les mines et imposer des conditions aux amodiataires, et ceux-ci, qui dirigent tous leurs efforts vers l'extraction des parties, riches encore, laissées par les anciens.

Les ouvrages d'avenir sont délaissés et négligés; l'extraction est donnée à forfait : tout concourt à la ruine des anciens travaux.

A la fin du dix-septième siècle, on avait abandonné le plus grand nombre des mines que nous avons désignées plus haut, et le travail était notablement réduit à cause de l'imperfection des machines et du manque d'eau pour les mouvoir et effectuer l'épuisement des eaux intérieures.

En 1680, on comptait cependant encore 40 ouvriers coupant mine à Pfennigthurm, 23 à Saint-Pierre, 22 à Saint-Jean, sans comprendre les rouleurs et manœuvres.

De 1700 à 1733, l'histoire de ces mines paraît assez confuse. Suivant Duhamel, le duc de Mazarin fit exploiter les mines pour son compte de 1700 à 1709, et des comptes arrêtés de sa main, existant aux Finances, indiqueraient un bénéfice de 40,000 francs, bénéfice qui, suivant Dietrich, se serait élevé à 50 pour 100.

Quoi qu'il en soit, l'exploitation paraît avoir cessé en 1709 et être restée suspendue jusqu'en 1733.

1733. Reprise des travaux par une compagnie anglaise, moyennant un dixième des métaux produits à payer à la duchesse de Duras, alors propriétaire, sans aucune réduction préalable.

Cette compagnie, obligée de faire des dépenses considérables pour relever les machines et les fourneaux, ne put commencer à vendre de métaux qu'en 1735, et parvint bientôt à l'expiration de son bail.

En 1740, la concession passe aux mains de la Compagnie de la Hogue, dirigée par de Genssane qui travaillait en même temps des mines en Lorraine et dans la Franche-Comté.

Cette concession ne lui était donnée que pour quatre ans. Il travaille activement à Auxelles, à Sainte-Barbe, à Saint-Martin, à Saint-Urbain, à Saint-Daniel et à Saint-Pierre sur 12 puits superposés de 80 à 100 pieds de profondeur; mais on doit reconnaître qu'avec un bail à si court délai il ne pouvait avoir d'autre but que de profiter des fronts de taille encore

ouverts, ou des minerais que les mineurs plus anciens avaient laissés au milieu même de leurs travaux.

En 1744, la mine de Saint-Pierre était abandonnée par suite de l'expiration du bail, et les eaux en envahissaient les fonds.

Dans les années suivantes, on fouille les vieilles haldes; on en tire, par le triage, tout le minerai riche abandonné par les exploitations antérieures; on pile les déblais et, dans l'intérieur, « on achève, ainsi que le dit Jars dans ses *Voyages métallurgiques*, de ruiner les mines de Giromagny. »

1779. Tous les travaux sont suspendus.

La dernière compagnie à qui avait été donnée la concession avait consommé une grande partie de ses fonds dans l'exploitation des granites et des porphyres et dans l'établissement des machines propres au polissage de ces roches.

« La cour des ateliers, dit Dietrich qui écrivait en 1783, ressemble aujourd'hui à l'emplacement d'une fouille faite pour déterrer les antiquités, car on y voit des fragments de jaspe, de serpentins, de porphyre, de granite, des débris de vases, de colonnes, etc. »

Cependant les travaux de mines, conduits à ce moment par un ingénieur allemand, promettaient un avenir important, et cet ingénieur poursuivait, dans le but d'assécher les anciens travaux, neuf galeries d'écoulement qui durent être abandonnées avant leur achèvement.

Après ce nouvel abandon, le duc de Valentinois, rentré dans la possession des mines, fit reprendre les travaux et, suivant les conseils des ingénieurs Duhamel et Mallet, il fit pousser exclusivement le percement de Saint-Daniel qui, en 1788, avait atteint environ 300 mètres, et celui de Saint-Philippe 200.

La révolution vint arrêter ces nouveaux efforts, et la loi de 1791 vint annuler la donation de Louis XIV à la famille de Mazarin.

La loi du 13 vendémiaire an IV venait d'ordonner la création d'une école pratique des mines à Giromagny; on pouvait croire à la reprise durable de ces mines, et Duhamel pouvait s'écrier : « Bientôt cette école rivalisera avec celles de Schemnitz et de Freyberg; dans peu nous aurons des mineurs qui vaudront les Hongrois et les Saxons, et la France aura conquis une nouvelle branche d'industrie qui influera sur les arts et concourra efficacement à la prospérité publique. »

Mais les belles espérances que l'on concevait alors furent vaines et les événements de l'époque en empêchèrent la réalisation.

En l'an XI, les communes offrent de reprendre les travaux pour leur compte moyennant une avance de 50,000 francs, mais cette demande ne fut pas accueillie.

Dans la même année, les ingénieurs du gouvernement proposent en vain la reprise des mines par une société en actions, au capital de 80,000 francs, sous le patronage et avec le concours de l'État.

1826. M. Voltz, ingénieur en chef des mines, propose inutilement de revenir à l'ancien projet d'une exploitation par l'État.

1843. Après plus de cinquante ans d'abandon, les mines de Giromagny furent concédées à une société anonyme.

Cette société, avec un capital restreint, dissémine ce capital en attaquant à la fois beaucoup de points.

Elle tente d'épuiser en même temps *Saint-Daniel* à Giromagny, *Saint-Jean, Saint-Martin, Saint-Urbain* à Auxelles.

La marche adoptée par le gérant paraît avoir été désapprouvée par les actionnaires en 1846.

A cette époque, la société prend une nouvelle forme; les travaux sont concentrés sur Saint-Daniel; on construit un boccard, un four à griller et un four à réverbère, à l'endroit où se trouve aujourd'hui une filature; quelque peu de minerai est extrait et traité par cémentation, et, en 1848, la révolution fut la cause réelle ou le prétexte de la cessation des travaux.

1853. Les mines, abandonnées de nouveau, passèrent en d'autres mains, mais on n'y travailla que pendant un an et d'une manière fort peu active. Aujourd'hui (1873) ces mines sont entièrement délaissées.

Ainsi nous voyons : que les mines de Giromagny paraissent avoir eu une période de production importante avant le dix-septième siècle, et que déjà les travaux y étaient parvenus à une grande profondeur;

Que ces mines furent suspendues et détruites à la fin de la guerre de Trente-Ans.

Reprises vers la fin du dix-septième siècle, elles furent abandonnées encore une fois, après une marche languissante, en 1716.

De 1733 à 1788, un grand nombre de compagnies se succèdent, mais la plupart des travaux consistent à profiter des découvertes anciennes et surtout à utiliser les déblais qui remplissent les vieilles haldes.

Vers cette époque, ces mines allaient probablement reprendre une grande activité, sous l'impulsion d'un ingénieur habile, quand l'absence de tout esprit de persévérance, faisant diriger les forces disponibles vers l'exploitation des granites, amena fatalement la ruine de l'entreprise.

Abandonnées de nouveau vers 1791, elles ne furent reprises qu'en 1843 avec des forces impuissantes et disséminées, puis enfin définitivement délaissées vers 1854.

Cette histoire des mines de Giromagny, depuis la guerre de Trente-Ans jusqu'à nos jours, tout incomplète qu'elle soit, nous montre d'abord que la faible production des mines, pendant cette période, ne saurait être attribuée à la pauvreté des filons; car, d'un côté, nous voyons les charges imposées par le seigneur propriétaire, et, de l'autre, l'inconstance des exploitants ou l'impossibilité dans laquelle ils se trouvaient, en présence de concessions à court délai, d'exécuter des travaux de longue haleine.

C'est là principalement qu'il faut chercher l'insuccès de ces mines pendant le dix-huitième siècle.

Quant à l'abandon dont elles ont été frappées pendant presque tout le dix-neuvième siècle, nous devons l'attribuer particulièrement à l'oubli presque constant de l'importance que pouvaient acquérir les mines métalliques de la France, et à l'insuffisance ou à la dissémination des forces qui y ont été appliquées.

Mine de Saint-Pierre. — Se trouve dans la montagne du Mont-Jean, à Giromagny même, sur la rive gauche de la Savoureuse et à très-peu de distance du groupe principal des habitations. On la considérait comme la plus profonde de la contrée; c'est aussi celle qui a été le plus travaillée par de Genssane, de 1740 à 1744.

On n'y est jamais rentré depuis cette époque, et aujourd'hui on n'y peut voir autre chose que l'entrée de quelques galeries descendantes pleines de décombres et l'emplacement d'une grande roue hydraulique.

Les documents dont nous avons parlé montrent qu'on y a exploité une colonne métallifère, d'environ 200 mètres de largeur, jusqu'à la profondeur de 418 mètres et par conséquent beaucoup au-dessous du fond de la vallée de la Savoureuse.

L'exploitation y était pratiquée sur 13 niveaux et, au temps du duc de Mazarin, l'épuisement des eaux s'y faisait au moyen de 22 pompes superposées, mues par une roue de 32 pieds.

Direction du filon : 4 à 5 heures, ou N. 60 à 75 E.

Inclinaison : 45°.

Puissance. — Il est difficile de se rendre compte de la puissance de ce filon, car les documents ne paraissent indiquer que l'épaisseur de la partie métallique que l'on y recherchait, et, d'autre part, la végétation recouvre aujourd'hui presque tous les affleurements.

D'après ces documents, ce filon présentait sonvent $0^m,10$ à $0^m,13$ de mine pure, et au fond des travaux, à 400 mètres de profondeur, il n'y en avait plus que 0,05.

Minerai. — Il consistait en pyrite jaune, argent gris, galène argentifère.

Dans le dix-septième siècle, de 1619 à 1630, la teneur du minerai d'argent (ganzglaserz) était de 9 1/2 à 10 loths au quintal ancien, ou 260 à 280 grammes aux 100 kilos.

La galène tenait de 4 à 8 loths au quintal ancien, environ 112 à 224 grammes aux 100 kilos.

La teneur moyenne du minerai, mélangé avec d'autres, à certaines époques, était environ de 390 grammes d'argent aux 100 kilos [1].

1. D'après un compte de 1667, on voit que 2,774 quintaux, minerai de *Phenigthurn* et de *Saint-Pierre*, mélangés, ou environ 135,000 kilos, ont donné 2,254 marcs d'argent (244 grammes), soit 550 kilogrammes.

En 1672, 1,426 quintaux de *Phenigthurn*, mélangés avec 324 quintaux de *Saint-Pierre*, ont fourni 1,158 marcs d'argent.

Ces minerais ont donc rendu 393 et 390 grammes d'argent environ aux 100 kilos.

« Je n'estime pas, dit de Genssane, qu'il fût prudent de rétablir cette « mine, à cause de la quantité d'ouvriers qu'il faut pour en retirer les « décombres et le minerai, jointe à la dépense considérable qu'occa- « sionnent les machines pour la tenir à sec. »

Cette observation doit être vraie avec la forme qu'avaient les travaux et l'imperfection des machines qui exigeaient une main-d'œuvre considérable; cette forme était justement blâmée vers 1756 par Jars qui, au lieu de 13 puits, n'en aurait voulu qu'un vertical; et c'est ce que l'on ferait aujourd'hui si on découvrait le filon Saint-Pierre tel qu'il était dans les premiers temps de son exploitation.

Duhamel, qui a visité les lieux à la fin du dernier siècle, ne manque pas de dire que « ce serait un acte de folie que de vouloir relever les travaux de Saint-Pierre; » mais, ajoute-t-il, « il ne paraît pas que ces travaux doivent être condamnés à un total abandon. »

Il n'admet pas qu'une colonne qui a été exploitée sur une aussi grande profondeur, et qui a présenté près de 80,000 mètres carrés de surface métallifère, soit seule et isolée au sein de ces montagnes. Il pense qu'au nord comme au sud il peut exister de nouveaux amas importants dans la direction du filon, et notamment vers ses croisements avec ceux qui se montrent autour de lui.

Cette idée paraît d'autant plus vraisemblable et d'autant plus rationnelle que le *Mont-Jean* appartient à un chaînon qui descend du ballon d'Alsace, et qui renferme un grand nombre d'autres gisements cuivreux et argentifères paraissant former avec lui une sorte de faisceau, interrompu seulement par ces intervalles stériles que l'on rencontre toujours, même sur les filons les plus riches.

D'ailleurs, *au-dessus de Vescemont*, dans le Mont-Jean, on avait reconnu, d'après Duhamel, un filon dirigé et incliné comme celui de Saint-Pierre, et qui paraît en être le prolongement.

Saint-Louis. — Ouvrage sur le prolongement du filon Saint-Pierre.

Saint-Georges. — Dans le Mont-Jean, à Giromagny.

Direction : E.-O.

Minerai : argent gris dans le quartz, cuivre et plomb.

On y avait commencé, vers 1778, une galerie d'écoulement au niveau de la rivière; cette galerie fut arrêtée, avant son achèvement, à 10 mètres du jour.

En face du Mont-Jean, sur la rive droite de la Savoureuse, dans les montagnes qui séparent Giromagny de Plancher-les-Mines, se trouvent des travaux immenses et de nombreux filons.

« Ces montagnes, dit de Genssane, sont entrelacées d'un nombre pro- « digieux de différents filons qui les traversent dans tous les sens et qui « tous donnent du cuivre, du plomb et de l'argent. »

Aujourd'hui il faut un œil bien exercé pour voir les immenses déblais sur les pentes; la végétation recouvre et cache à peu près tout, et l'on ne voit plus que quelques ouvertures de galeries.

C'est dans ces montagnes que se trouvent les filons de *Phennigthurn*, *Teutschgrund*, *Saint-Daniel*, etc.

Phennigthurn. — Filon presque vertical, dirigé du nord au sud.

Minerai. — S'il faut en croire d'Hérouville, le minerai se composerait de cuivre jaune et gris donnant 10 à 12 livres de cuivre et 2 marcs d'argent au quintal ancien, soit 10 à 12 de cuivre et environ 1 kilogramme d'argent. Cette teneur paraît sans doute exagérée, mais cependant, en 1840, on a trouvé dans ces montagnes des minerais tenant en effet 1 pour 100 d'argent.

Les ouvrages consistaient en une galerie de 30 mètres s'ouvrant au pied de la montagne, et dans 11 puits percés les uns au-dessus des autres, de 100 pieds de profondeur chacun.

En 1741, M. d'Hérouville vit dans le septième puits de la mine d'argent dispersée dans le filon; dans une foncée d'une extension de 30 toises, qui partait du neuvième puits, il trouva 1 pouce de mine (0,027) et 3 pouces (0,081) dans le douzième du côté nord.

Enfin, au sol le plus bas des travaux, où aboutissaient les corps de pompes, il y avait, d'une part, 3 pouces (0,081), et, de l'autre, 6 pouces (0,162) de mine massive.

Une roue hydraulique servait à l'épuisement, et cette roue était mise en mouvement par les eaux d'un canal venant de la Bucinière, dont on voit encore les traces. Plusieurs étangs, ceux de la Bucinière, des Belles-Filles, l'Étang-Neuf, etc., alimentaient ce canal. Deux de ces étangs existent encore aujourd'hui, et leurs eaux sont utilisées par les fabriques de tissage qui sont dans la vallée.

De Genssane tenta d'épuiser les travaux de Phennigthurn qui, sans doute, avaient été abandonnés depuis peu. « Nous avons vidé les puits, « dit-il, jusqu'au septième; après quoi, le peu de minerai, le défaut d'eau « pour les roues de la machine, et surtout les dépenses énormes que ce « travail nous occasionnait, nous rebutèrent de cet objet. »

Cette description du gisement de Phennigthurn, quelque incomplète qu'elle soit, suffit pour nous montrer que là, comme à Saint-Pierre, les travaux étaient ouverts sur une colonne minérale descendant, sans discontinuité, depuis les hauteurs de la montagne jusqu'à près de 400 mètres de profondeur, et que dans les parties les plus basses le minerai existait encore.

Le Solgat. — D'après Duhamel, il paraît tenir assez de minerai pour couvrir les frais.

Saint-Daniel. — Cette mine, située sur le même versant que Phennig-

thurn, était exploitée en 1741. Son entrée était en face de la mine de Saint-Pierre.

D'après de Genssane, les travaux y avaient atteint au plus 200 pieds de profondeur.

Au fond, à cette époque, la mine présentait 6 pouces d'épaisseur (0,162) de minerai de cuivre, plomb et argent, et sur des longueurs variant de 12 à 40 mètres.

Ce minerai rendait, d'après Genssane, 15 à 18 pour 100 de cuivre et 3 à 4 onces d'argent au quintal ancien (environ de 183 à 245 grammes aux 100 kilos); quelques morceaux rendaient jusqu'à 730 grammes.

Outre ces travaux, il en était de plus modernes, connus sous le nom de *Nouveau-Saint-Daniel*, placés à 100 toises des anciens; leur profondeur pouvait être de 150 pieds.

« Lors des recherches faites en 1841 (Kœchlin et Delbos), on trouva « une galerie de 322 mètres, dont on ignorait l'existence, au-dessous « d'un travail de 100 mètres au moins d'élévation, et un puits de 14 mètres. « Au fond, le filon était à découvert sur 50 pieds de longueur et divisé « en gradins. Il avait $0^m,80$ de puissance et était composé de minerai de « boccard et de minerai massif, consistant surtout en cuivre pyriteux; « la galène était en moindre quantité. La teneur de cette galène, d'après « une analyse faite par M. Berthier en 1841, est, en argent, de 2 onces « 7 gros et 2 grains au quintal, environ 130 grammes aux 100 kilos. Le « minerai de cuivre contenait jusqu'à 33 pour 100 de ce métal.

« En 1848, d'après M. Lagrange, ingénieur de la Société des mines de « Giromagny, on avait exécuté les travaux suivants :

« 1° Asséchement et approfondissement de la foncée des anciens sur « le filon même et dans le minerai. Ce filon avait $0^m,70$ d'épaisseur;

« 2° Prolongement d'une galerie de 108 mètres, poussée au sud par « les anciens dans le stérile; après 3 mètres de poursuite, on rencontra « un filon de $0^m,45$ riche en minerai très-pur;

« 3° Ouverture d'une galerie au sud, dans le bas de la foncée et dans « le filon épais de $0^m,55$, et donnant du cuivre argentifère très-riche;

« 4° Allongement d'une galerie à 10 mètres au-dessous de la galerie « n° 3; commencé dans le stérile, ce travail a donné, au bout d'un mètre, « de beau minerai sur une épaisseur de $0^m,70$, en deux filons jumeaux; « la partie métallique du filon constituait à peu près la moitié de la « masse. Le minerai formait une nouvelle colonne, et on pensait que « cette colonne s'élevait jusqu'au sommet de la montagne, comme celle « que les anciens avaient exploitée. La longueur en direction était in- « connue.

« On a encore exécuté des travaux vers le nord qui ont donné des in- « dices de minerai devenant de plus en plus abondants.

« La teneur moyenne du cuivre gris a été de : cuivre 20,74 et argent « 1,22 pour 100. »

La plupart de ces travaux pouvaient être visités il y a peu de temps, et peuvent l'être probablement encore aujourd'hui.

Galerie de Phennighturn. — Cette galerie, dont le plan nous a été donné par Duhamel, était ouverte, sur la rive droite de la Savoureuse, en face du Mont-Jean et tout près de l'ancien château des Mines dont il ne reste même pas une pierre aujourd'hui. On voit encore l'ouverture de cette galerie. Elle était destinée à aller rencontrer cette série de filons parallèles, de *Phennighturn*, *Saint-Nicolas*, *Saint-Daniel*, *Teutschgrund*, etc., dont les affleurements se trouvent dans la montagne qui les domine.

En 1783, quand Dietrich la visita, elle avait près de 300 mètres de longueur et était à peu près dirigée de l'est à l'ouest, pour recouper, ainsi que je viens de le dire, tout un faisceau de filons nord-sud.

Cette galerie rencontra :

1° A peu de distance de l'entrée, un filon que Duhamel considérait comme le filon de Phennighturn : travaux anciens inconnus à ce moment;

2° A 60 mètres, un filon cuivre, plomb et argent, recoupé par un filon de quartz sauvage;

3° Un filon de 0m,50 de puissance, avec vieux travaux, et croisé par un filon presque perpendiculaire : également travaillé par les anciens;

4° A 240 mètres de l'entrée, un filon de cuivre, argent et plomb, de 0m,30 de puissance, dirigé du sud au nord et incliné au levant, qui semble être le prolongement du filon Saint-Nicolas.

Les déblais que l'on voit aujourd'hui à l'entrée de la galerie accusent des fragments, d'apparence porphyrique, de spath fluor, quartz grenu, cristallin, jaunâtre, de chaux carbonatée et de pyrite cuivreuse.

Saint-Nicolas. — Travaux situés près de Saint-Daniel.

Direction : N.-S.; inclinaison à l'est.

En 1738, on cessa d'y travailler faute d'argent, dit d'Hérouville, pour payer les ouvriers qui n'y travaillaient qu'à forfait. On y avait un filon donnant 2 pouces de mine (0,054) de cuivre jaune et gris, rendant 6 loths au quintal, soit environ 172 grammes aux 100 kilos.

Teutschgrund. — D'après Genssane, le filon de Phennighturn est croisé par un autre sur lequel les anciens ont exécuté des travaux considérables.

On m'a montré auprès de Giromagny les entrées de plusieurs galeries ouvertes anciennement sur ce gîte, et aujourd'hui entièrement fermées à leur ouverture. Une épaisse végétation recouvre la plus grande partie des déblais.

« A en juger par les haldes, disait Duhamel, aucun filon du pays n'a été plus abondant ni plus suivi. »

D'après Dietrich, il y avait deux galeries dans le sens de la direction : l'une que l'on croit avoir eu 1,400 et l'autre 2,200 mètres de longueur.

De Genssane tenta de relever l'une de ces galeries, mais il s'arrêta après 200 mètres de parcours.

On essaya encore quelques années plus tard, et cette dernière tentative fut encore abandonnée.

Tout annonce, dit Duhamel, que ce filon est considérable et très-important.

Auprès de Puix et dans le vallon de la Bucinière, on voit encore aujourd'hui les traces de galeries dont les derniers vestiges auront bientôt disparu.

Dans cette partie du territoire de Giromagny et dans les lieux qui l'environnent, on connaît :

Saint-François : plomb et argent; sur la gauche de la route du ballon; 3 à 4 pouces (0,08 à 0,11) de galène, tenant : 40 pour 100 plomb et 1 once 1/2 au quintal (90 grammes environ aux 100 kilos, ou environ 2^k,150 à la tonne de plomb). Ne paraît pas mériter l'exploitation, selon Genssane.

Saint-Jacques. — Non exploité en 1741.

Saint-Michel : plomb; filon de galène à gangue spathique; N.-S.; inclinaison à l'O. D'Hérouville dit : petit filon de bonne espérance. Plusieurs galeries ont été faites sur ce gîte. Minerai de boccard.

Sainte-Marie : plomb; près du Puix; filon à gangue quartzeuse; N.-S.; peu productif.

Schlick : cuivre; galerie de 40 mètres.

Saint-Nicolas-des-Bois : N.-S.; inclinaison à l'O.; paraît être dans les montagnes qui sont à la suite du Mont-Jean, en montant vers le ballon d'Alsace. Cette mine, abandonnée depuis longtemps, alimentait, avant 1741, une fonderie située dans le vallon dit la Goutte-Thierry. De nombreux trous existent sur ces affleurements.

Sainte-Barbe. — Cette mine m'a été indiquée dans le vallon de la Bucinière, mais MM. Kœchlin et Delbos la placent à 1,500 toises au nord de Giromagny, sur la droite de la route du ballon, en face de la mine de Saint-François. Ce filon était quartzeux. Vieux travaux.

Saint-André.—Paraît être sur le même filon que Sainte-Barbe. Les vestiges des anciens travaux montrent qu'on a dû en extraire beaucoup de minerai de plomb. Vers la fin du siècle dernier, on y avait entrepris une galerie d'écoulement qui fut arrêtée comme les autres et par les mêmes motifs.

D'après d'Hérouville, la tradition parle encore de mines qui ont été exploitées, dans les temps les plus reculés, à la montagne Collin, montagne Schelogue, Saint-Guillaume et les Trois-Rois. Ces derniers doivent se trouver au-dessus du Puix et dans le vallon de la Bucinière.

MINES D'AUXELLES.

Auxelles-Haut est un village que l'on aperçoit, en marchant de Belfort vers le ballon d'Alsace, adossé aux flancs rapides des derniers contreforts des Vosges. Les gisements qu'on y rencontre se rattachent plus ou moins directement à ceux de Giromagny, et dans tous les cas ils appartiennent à un même ensemble de productions métalliques. Ce pays, comme celui de Giromagny, doit son origine à l'exploitation des mines qui y est aujourd'hui totalement délaissée.

Mine de Saint-Jean. — Cette mine, l'une des plus considérables de la contrée, se trouve dans le mont Ménard dont les sommets dominent à la fois Auxelles et Plancher-les-Mines.

Aucune mine de plomb, dit Duhamel, ne présente autant d'espérance.

Suivant de Genssane, on y connaissait trois filons qui se croisent au centre des travaux : l'un dirigé N.-S., l'autre S. 15 E., et le troisième S. 30 E.

Minerai : galène rendant, d'après Duhamel, 75 pour 100 de plomb et 62g,25 aux 100 kil. de minerai.

« Le minerai, dit de Genssane, y est d'une abondance surprenante...
« aussi riche dans la profondeur que dans le haut. »

Le filon présentait assez constamment $0^m,50$ de minerai massif et jamais moins de $0^m,25$.

Gangue : quartz et spath.

D'après Duhamel, les travaux, commencés à la partie supérieure de la montagne, sont parvenus à la profondeur de 133 mètres, et le fond des travaux paraît être à 32 mètres au-dessus d'une galerie d'écoulement commencée à la base de la montagne, vers la fin du siècle dernier, qui devait avoir 986 mètres et ne fut poussée que jusqu'à 131. Cet ingénieur proposait de la poursuivre et d'y installer une machine à vapeur pour exploiter au-dessous de son niveau.

Au fond des travaux, le minerai présentait une puissance de 0,32 à 0,40 massif, sur une longueur de 97 mètres.

C'est, comme on le voit, une colonne métallifère persistante et suivie qui n'a pas cessé d'être riche depuis le sommet jusqu'à plus de 100 mètres de profondeur, et qui certainement doit conserver son allure beaucoup au-dessous des travaux qu'on y a faits jusqu'à présent.

De Genssane y travailla, mais de son temps les travaux des fonds furent remplis d'eau; les machines ne suffisaient pas à son épuisement et on glanait au niveau des galeries anciennes.

Après 1841, on tenta de reprendre la mine de Saint-Jean; on épuisait les puits situés au-dessous de la plus basse galerie d'écoulement ancienne, qui elle-même se trouvait à 375 mètres au-dessous des affleurements.

Les habitants actuels qui ont vu exécuter ces travaux disent qu'après bien des difficultés vaincues, un envahissement subit des eaux vint arrêter le travail et en causer la suspension.

La notice de M. Colard, alors directeur de l'entreprise, indique (Kœchlin et Delbos) que la mine se composait de deux colonnes séparées de minerai plongeant dans la profondeur, et constituant deux ouvrages différents :

Les uns, connus sous le nom de vieux travaux, présentaient au fond un filon de 100 mètres de longueur sur 1 pied d'épaisseur, presque massif; les autres, dits les nouveaux ouvrages, offraient un filon dont la puissance était de plus de 1 mètre, riche en minerai à trier et contenant aussi quelques minerais de boccard.

Quoi qu'il en soit, on voit encore là le caractère général des filons de ces contrées, qui consiste à présenter le minerai en colonnes suivies. Il paraît donc probable que d'autres colonnes pareilles puissent se trouver dans la direction même du filon et puissent encore fournir de grands produits dans l'avenir : c'était aussi l'opinion de Duhamel.

Saint-Urbain, montagne de la Suisse, auprès du mont Ménard, au-dessus d'Auxelles.

Cette mine montre que les anciens n'avaient pas tout exploré ni tout exploité. Elle fut découverte en 1734 ou 1735.

Direction du filon : N. 75 à 80 E.

Puissance du minerai : 0,16 à 0,32 de galène argentifère et de mine de cuivre jaune.

On y travailla dix ans.

On reprit ce filon en 1841 et on reconnut qu'il avait une puissance de $0^m,80$; qu'il était quartzeux, moucheté de galène et accompagné de chaque côté de veines de 0,03 de minerai massif qui, d'après l'analyse de M. Berthier, rendait 84 pour 100 de plomb et 7 gros 48 grains au quintal ancien environ, ou 57 grammes aux 100 kilos.

Saint-Martin, situé dans la même montagne que Saint-Urbain et au-dessus de lui.

Gangue de quartz noir contenant beaucoup de galène mêlée de pyrite cuivreuse, disséminés en particules, en veines ou en rognons.

Puissance du filon : 0,60.

Minerai en colonne d'une largeur de 33 mètres.

Un fonçage de $1^m,80$ produisit, dans les essais qu'on y fit en 1841, 1,189 kilogrammes de minerai tant de fonderie que de boccard.

La galène tenait 1 once 2 gros 17 grains au quintal ancien, soit environ 76 grammes aux 100 kilos, de minerai.

Sainte-Barbe : minerai, plomb, cuivre, zinc et argent; beaucoup de blende.

Puissance : 1,40 à 1,60.

Les travaux avaient été abandonnés avant la visite de ces mines par d'Hérouville en 1741.

En 1841, les éboulements extérieurs ne permettaient plus de pénétrer dans ces travaux. On y avait fait anciennement, d'après Dietrich, une galerie de 200 mètres, et à 42 mètres de celle-ci une autre plus ancienne, de longueur inconnue.

Les travaux exécutés par de Genssane sur ces diverses mines d'Auxelles furent abandonnés à la suite de l'expiration de son bail, et restèrent ainsi jusqu'à la dernière reprise momentanée de 1841, c'est-à-dire pendant près d'un siècle.

Geselschaft : N.-S.; travail situé auprès du village d'Auxelles. N'a pas été ouvert depuis les anciens. Les haldes indiquaient à de Genssane des travaux considérables, et les débris qu'on y trouvait indiquaient que les minerais extraits devaient avoir consisté en cuivre, plomb et argent.

On n'y est jamais rentré depuis le seizième siècle, et la tradition rapporte qu'une épidémie fut la cause de son abandon.

Elle paraît pouvoir être reprise par galerie d'écoulement.

Saint-Philippe, dans la montagne de la Suisse, au-dessus des travaux de Saint-Urbain. Peu intéressant. D'après Duhamel, pyrite de cuivre dans du fer carbonaté.

Les travaux, abandonnés en 1760, étaient encore en parfait état en 1841.

Schelmute : plomb. Grands travaux inconnus.

Bagralle : fer et cuivre. Filon d'hématite dirigé sur 2 heures ou N. 30 E. Fer carbonaté et pyrite de cuivre. Peu suivi.

Ce filon fut exploré pendant quelque temps comme mine de fer, qui fut bientôt remplacée en profondeur par du cuivre et du plomb.

Saint-Jacques. — Exploitation abandonnée en 1739. D'après d'Hérouville, au fond de deux puits, l'un de 8 à 10 mètres, l'autre de 40 mètres, il y avait des ouvrages pouvant occuper 60 mineurs sur la mine.

L'Homme-Sauvage. — Petits travaux à ciel ouvert. Galène.

Nouveau Saint-Philippe : cuivre, plomb et argent. C'était le seul ouvrage auquel on travaillait lors de la visite de Dietrich (Kœchlin et Delbos). Il consistait en une galerie située à 30 et quelques toises au-dessus du village d'Auxelles. Elle devait recouper et mettre à sec les travaux dont il vient d'être parlé, excepté ceux de Saint-Jean et de Geselschaft. Elle avait une longueur de 100 toises et on la poussait en ligne droite. A 70 toises du jour, elle a coupé un filon de mine de plomb très-important, dirigé sur 10 heures (S. 30 E.), incliné à l'Est, épais de plus de 2 pieds et à salbandes argileuses. 20 mètres plus loin, on a rencontré un beau filon de cuivre mêlé d'un peu de plomb, puissant de 12 à 18 pouces, dirigé E.-O. et incliné au Sud.

MINES DE PLANCHER-HAUT, OU PLANCHER-LES-MINES.

Historique. — Ainsi que nous l'avons déjà dit en parlant de Giromagny, Plancher-les-Mines est certainement l'un des pays des montagnes des Vosges et de celles de la France où l'exploitation des mines est la plus ancienne. Nous y avons vu, à côté des insignes du mineur et des signes qui se rapportaient aux mystères dont s'entourait alors l'art minéralurgique, la date de 1123, et parmi les débris amassés autour de la nouvelle église, on peut voir aussi la date de 1556 près de deux pics de mine en relief sur un vieux baptistère.

Voilà donc deux dates précises qui font remonter les travaux miniers de Plancher-les-Mines au moyen âge et au seizième siècle, c'est-à-dire à deux époques célèbres en Europe pour la reprise et l'activité des mines métalliques.

Dans le seizième siècle, ces mines étaient comprises dans les possessions de l'abbaye de Lure[1], et furent d'abord exploitées pour son compte. « Des traités d'amodiation eurent lieu ensuite, en 1515, 1645, 1661, « 1680; mais les travaux d'exploitation furent abandonnés à la fin du « dix-septième siècle.

« On les reprit en 1705 par les ordres du comte de Lœvenstein, alors « abbé-prince de Lure et de Murbach. Son secrétaire dressa un ample « mémoire sur l'état des mines de Plancher. On y voit qu'elles étaient « au nombre de cinq, savoir : la *Grande-Montagne*, mine de plomb; *Notre-* « *Dame*, mine d'argent; la *Montagne Sainte-Barbe*, mine de plomb; *Cra-* « *maillot* et *Saint-Jacques*, mines de cuivre.

« Le comte de Lœvenstein, après avoir essayé de les faire valoir à ses « frais, dut abandonner cette entreprise. Il céda à Claude Sterchle telle « mine qui lui plairait pour en recommencer l'exploitation (1717). Les « résultats demeurèrent nuls ou à peu près.

« En 1733, un Anglais, chef d'une société d'entrepreneurs qui avaient « plusieurs concessions, soit en Alsace, soit en Bourgogne, voulut aussi « faire valoir les mines de Plancher. Il construisit des usines dans la « forêt de Saint-Antoine, et éleva des fonderies; il alla peu après s'éta- « blir à Giromagny, laissant à un autre Anglais la direction des travaux « de Plancher.

« Le territoire de ce lieu fournissait alors peu de minerai d'argent, « mais en revanche beaucoup de plomb et de cuivre. Au contraire, celui « de Giromagny, plus abondant en argent, manquait des deux autres « métaux. On les prenait à Plancher pour les fontes d'argent faites à Gi- « romagny.

« Le 30 novembre 1736, les entrepreneurs reçurent du roi des lettres

1. Annuaire de la Haute-Saône.

« patentes qui leur assuraient toutes les concessions qu'ils avaient obte-
« nues précédemment; mais ces mines furent abandonnées en 1760. »

Mines. — Le compte rendu des travaux des ingénieurs de l'État publiait en 1846 une note des mines abandonnées en France, et nous y voyons les mines de Plancher désignées comme présentant onze filons groupés dans le porphyre de transition, et renfermant des pyrites aurifères, de la galène, du cuivre gris, de l'argent. La teneur en or y est indiquée comme étant d'environ 150 grammes à la tonne.

Lorsque l'on descend des hauteurs d'Auxelles dans le vallon de Plancher-les-Mines, lorsque l'on aperçoit toutes cés couches rocheuses et redressées qui se trouvent sur les deux versants du vallon, on reconnaît, ainsi que les études postérieures l'ont démontré, que ces couches, que l'on avait prises pour des porphyres, appartiennent à des roches sédimentaires paléozoïques profondément altérées, et leur aspect, leurs formes et leur coloration inspirent immédiatement l'idée de leur richesse métallifère.

Il est difficile de fixer le nombre des filons de ces localités. Disons sincèrement que personne aujourd'hui ne peut en connaître le nombre.

L'importance métallifère de cette partie des Vosges est attestée encore par les documents anciens qui rappellent que Plancher, comme Auxelles-Haut et Giromagny, doit son existence aux mines de la localité. Il était entouré de murailles et il possédait une juridiction et un conseil des mines. Comme dans les Pyrénées, les minerais, avant l'invention du boccard qui eut lieu en 1505, étaient broyés sous des meules, après avoir été rendus tendres et friables par le feu[1].

De tous les immenses travaux qui ont été exécutés dans la vallée du Rahain, fonderies, boccards, ateliers de lavage, etc., il ne reste absolument rien aujourd'hui : la tradition même est perdue. Les déblais sont recouverts de végétation, et l'on ne voit plus qu'un petit nombre des anciennes galeries dont quelques-unes servent maintenant comme réservoirs d'eaux et alimentent les fontaines publiques.

Les renseignements suivants proviennent particulièrement des ouvrages de de Genssane, qui travailla les mines de Plancher en même temps que celles d'Auxelles et de Giromagny, vers 1740.

Mine de la Grande-Montagne. — Cette mine est située près de Plancher, sur la rive droite du Rahain, parallèle au cours du torrent.

C'est une réunion de plusieurs filons.

Le minerai, composé de plomb, cuivre et argent, était blendeux et arsénical.

1. De Genssane.

Il rendait 60 à 65 pour 100 de plomb, 2 à 3 pour 100 de cuivre, et environ 65 à 120 grammes d'argent aux 100 kilos.

De Genssane pilait les déblais et il en tirait encore 12 à 15 livres de plomb, 2 à 3 de cuivre et 1 once d'argent au quintal ancien, soit environ 60 grammes aux 100 kilos de minerai.

Lorsqu'on gravit cette montagne qui domine Plancher, on voit les traces d'une exploitation importante. De Genssane la présentait déjà en 1746 comme fendue de part en part et dans toute sa hauteur.

Les travaux, dit-il, y ont donc été poussés à une profondeur considérable, au-dessous même du niveau du torrent; mais il ajoute : « Il est vrai que dans cette profondeur on trouverait encore beaucoup de minerai, si l'on n'était pas gêné par les eaux. »

Sur le même versant du Rahain, et non loin de la Grande-Montagne, se trouvent de nombreux travaux dont on reconnaît bien les traces malgré la végétation qui les recouvre. Ces travaux, connus sous le nom de Sainte-Barbe et Saint-Jacques, seraient très-vastes. Ils font suite à ceux de la Grande-Montagne et paraissent appartenir au même système métallifère.

On y travailla en 1740, mais l'abondance des eaux les fit bientôt abandonner.

Le Loury. — Au haut de Plancher et sur la rive gauche du Rahain, presque en face de la Grande-Montagne, on voit une montagne escarpée et abrupte, dont les rochers de la base à pente presque verticale se montrent sur les bords du torrent : c'est la montagne du Loury.

Le revers de cette montagne présente deux filons joints ensemble : l'un de cuivre, l'autre de plomb. Le minerai est facile à fondre, mais, dit de Genssane, il ne donne que par bouillons.

Il rendait 12 à 15 livres cuivre, 30 à 35 livres plomb, 3 loths 1/2 d'argent, ou environ 100 grammes aux 100 kilos. « Il faudrait, dit-il, faire « une galerie au pied de la montagne, mais la dépense que cela occa- « sionnerait nous en a détournés. »

Ce minerai tenait encore un peu d'or, s'il faut en croire de Genssane. Il contiendrait à l'essai 2 gros (7g,65) au quintal ancien, ou environ 150 grammes à la tonne.

Mine de Notre-Dame. — Sur le même versant se trouve la mine de Notre-Dame, que l'on considérait comme l'une des plus riches du canton.

Suivant de Genssane, son minerai rendait 15 à 20 pour 100 plomb, 5 à 6 pour 100 cuivre et 2 marcs d'argent au quintal ancien, ou environ 1 kilogramme aux 100 kilos de minerai.

Cette mine, reprise en 1738, fut abandonnée en 1741 au moment où le filon fut coupé par un roc sauvage, rejeté et perdu. De Genssane, qui

donne ce détail, croit en avoir retrouvé le prolongement à 400 mètres plus loin, en un point de la montagne où se trouvent des anciens travaux.

Cramaillot. — En remontant le cours du Rahain, sur la route qui conduit à la Vieille-Hutte, au pied des montagnes de la rive gauche et près de la roche dite Roche-de-Cramaillot, à 30 ou 40 mètres au-dessus du torrent, on voit l'entrée éboulée et fermée qui m'a été indiquée comme correspondant aux mines de Cramaillot. Ces mines paraissent ouvertes sur le prolongement des filons de Loury.

D'après de Genssane, « on pourrait exploiter ce filon sur une hauteur « de 100 mètres environ sans être incommodé par les eaux, en prati- « quant une galerie au pied de la montagne. »

Ce renseignement jette un certain doute sur la position de la galerie dont je viens de parler, ou sur l'époque à laquelle elle a été ouverte. Il est possible qu'elle ait été pratiquée depuis le moment où écrivait de Genssane. Son entrée étant éboulée et obstruée, il est impossible d'en mesurer la longueur et de savoir aujourd'hui jusqu'à quel point elle a été poussée, sans exécuter quelques travaux.

Saint-Antoine. — Non loin de là, en suivant toujours le cours du Rahain, non loin de la Croix-de-Mission, on voit encore les traces d'anciens travaux. Presque en face, et près de la scierie actuelle de Saint-Antoine, se trouvait la fonderie faite par les derniers exploitants. Quelques scories seules en indiquent le souvenir, et son emplacement est couvert de gazon.

C'est aux environs de cet endroit que se trouvait probablement la mine désignée par de Genssane sous le nom de *Cuivre,* et que les Anglais auraient travaillée d'après les traditions locales du moment.

La Vieille-Hutte. — C'est une simple maison située à 6 ou 7 kilomètres de Plancher, en remontant le Rahain, entre le ballon de Servance et le ballon d'Alsace, et sur les bords du torrent. On y voit un énorme amas de scories qui, malgré quelques colorations verdâtres, d'ailleurs peu nombreuses, semblent particulièrement provenir de la fonte de minerais plombeux. J'y ai trouvé un fragment de matte qui paraît ne laisser aucun doute à cet égard.

D'après de Genssane, on a trouvé dans les environs, dans les jardins, quelques lingots d'argent, du cuivre noir, et des outils qui paraissent antérieurs à ceux dont se servaient les ouvriers après l'invention de la poudre.

« Tous ces indices, ajoute-t-il, prouvent que les travaux n'ont pas été « abandonnés par la faute de la mine, mais que les ouvrages ont péri « par quelque calamité. »

Les traces de la fonderie n'existent plus, et on a même perdu le souvenir des travaux des mines, qui jamais n'avaient été reprises, depuis un temps immémorial, jusqu'au moment où de Genssane les étudia.

En 1720, sur l'emplacement de la fonderie, on construisait une verrerie dont on voit encore les vestiges. Elle fut brûlée en 1734.

Tout y était inconnu vers 1740, quand, dit de Genssane, « un gros « ravin d'eau, découvrant la surface, lui permit de reconnaître trois « gros filons parallèles, ayant ensemble plus de 3 toises. »

Les anciens y ont travaillé à ciel ouvert et ont creusé, sur la longueur des filons, une fente de plus de 100 toises (200 mètres) de long.

L'excavation était déjà presque entièrement comblée et on ne pouvait en connaître la profondeur.

Ces trois filons consistaient en :

Un filon de plomb,

Un filon de quartz et pyrite,

Un filon de quartz bleuâtre, marne noire, blende et mine d'argent.

De Genssane considérait leur ensemble comme représentant une mine de cuivre, plomb et argent.

Ces filons avaient été tracés par les anciens à la surface, au moyen d'une série de travaux qui s'étendaient sur plus « d'une demi-lieue, » c'est-à-dire au moins 3,000 mètres.

De Genssane les attaqua au moyen d'une galerie d'écoulement ouverte au pied du précipice, à environ 100 toises (200 mètres) en dessous.

En mars 1756, il restait encore 12 toises (24 mètres) à faire pour parvenir au gros filon.

Là s'arrête tout ce que nous pouvons dire sur ce gisement qui provoque au plus haut point la curiosité et que Duhamel présente comme l'un des plus puissants qui aient été travaillés.

J'ai fait ce que j'ai pu pour en retrouver les traces, mais je n'ai pas réussi dans le court délai que je pouvais consacrer à ces recherches.

Mont-Ménard. — Il nous reste maintenant à rappeler le gîte de Mont-Ménard, situé sur le versant de Plancher, dans la même montagne que les mines d'Auxelles-Haut dont nous avons déjà parlé.

Ce gîte consistait en un filon de plomb de même nature que celui de Saint-Jean, et paraissant en être le prolongement.

Il produisait un minerai à la teneur de :

60 à 65 pour 100 plomb,
2 loths d'argent au quintal ancien.

Il renfermait en outre beaucoup de blende antimoniale.

Les filons de Giromagny et d'Auxelles semblent devoir croiser le filon de Mont-Ménard, et l'étude de ces points de jonction serait du plus haut intérêt.

De Genssane en a extrait des quantités considérables de minerai qui étaient fondues à la fonderie de Plancher.

Montagne de la Tête-du-Mineur. — Pour terminer ce que nous avons à dire sur ces localités, nous rappellerons que d'Hérouville signala, en 1741, une mine ancienne, de cuivre, plomb et argent, sur le territoire d'Estuffont, non loin de Giromagny et sur l'un des premiers contreforts de la chaîne des Vosges, aux environs de Belfort.

Nous n'avons pas retrouvé cette mine; mais, sur la paroisse d'Estuffont et sur la commune de la Madeleine, dans une montagne dite la *Tête-du-Mineur*, à laquelle on arrive en passant par Vescemont et au pied des ruines du château de Rosemont, on voit, au milieu des bois de hêtre, les vestiges de plusieurs filons.

L'un d'eux, que nous avons particulièrement observé, courait sur une direction N. 75 O.; presque vertical; d'une puissance de 0,80 à 1 mètre; encaissé dans des roches d'apparence porphyrique, mais qui ne paraissent devoir être que des grès métamorphisés.

Les travaux anciens, dont on n'a pas conservé le souvenir, sont ouverts sur l'affleurement et descendent jusqu'à une profondeur qu'il n'est pas possible de déterminer sans y exécuter des ouvrages de reconnaissance.

Ces travaux se développent sur une étendue de plus d'un kilomètre.

Les déblais qui restent encore accusent particulièrement du quartz; mais, malgré toute l'attention que nous avons mise, nous n'avons pu déterminer le minerai utile dont leur extraction a été l'objet.

Duhamel cite, à Estuffond, une mine de cuivre, plomb, argent, qui a pu être importante et n'a pas été travaillée de mémoire d'homme.

RÉSUMÉ RELATIF AUX MINES DE GIROMAGNY ET DE PLANCHER.

D'après tout ce que nous venons de dire, il est facile de reconnaître que toute cette partie de la chaîne des Vosges que nous avons examinée est entrecoupée par un nombre important de filons cuivreux, plombeux, argentifères et aurifères.

La tradition ne nous a laissé que peu de souvenirs des grands travaux dont ces filons ont été l'objet; mais, d'après l'ensemble des documents recueillis, on a pu voir que ces mines, comme celles de l'Allemagne, ont eu une époque de grande activité au temps du moyen âge, et qu'elles ont dû être abandonnées, une première fois, par suite de l'imperfection des moyens et certainement aussi des charges que les propriétaires féodaux faisaient peser sur elles.

Les progrès de l'art des mines, qui firent naître l'ouverture des galeries d'écoulement, donnèrent lieu à la reprise de ces mines au commencement du seizième siècle. Les unes, comme celles de Plancher, ont été probablement poursuivies tant que l'on a pu en épuiser les eaux avec les forces

que l'on possédait; les autres, comme celles de Giromagny, après un siècle de grande activité, tombèrent dans un état de marasme, qui s'est perpétué jusqu'à nos jours, à la fin de la guerre de Trente-Ans et par suite des désastres que cette guerre avait occasionnés.

Nous voyons encore que des colonnes métallifères puissantes ont conservé une persistance de richesse considérable et qu'elles n'ont pas offert de variations sensibles sur une hauteur de plus de 400 mètres; et ce caractère particulier, si remarquable, rapproché de l'idée que les anciens cherchaient plutôt les minerais purs que les minerais de boccard, que leurs travaux ont toujours été accumulés les uns sur les autres pendant la durée des derniers siècles, nous porte à croire que tout n'a pas été trouvé, même au-dessus du niveau des vallées, qu'il y reste beaucoup à étudier et beaucoup à faire encore.

C'était l'idée du mineur Duhamel, qui montrait avec tant de raison la possibilité de reconnaître de nouvelles colonnes riches et métallifères à Giromagny, comme à Auxelles.

Maintenant, la grande question que l'on doit se poser est celle-ci : ces mines, abandonnées depuis si longtemps, peuvent-elles être reprises aujourd'hui avec avantage?

Duhamel y répondait affirmativement en l'an VI, et nous croyons que s'il vivait encore il ne modifierait rien aujourd'hui à son opinion.

Nous ne rappellerons pas, ce que nous avons déjà eu occasion de dire, savoir : l'accroissement des moyens dont le mineur dispose actuellement, tels que les perforateurs qui permettent d'achever en deux ans des galeries dont l'exécution aurait exigé, il n'y a pas longtemps, dix années de travail; le perfectionnement des modes de lavage et de traitement, et l'emploi de l'air comprimé, l'une des grandes forces de l'avenir qui permettra peut-être d'aller, à de grandes distances, dans le sein des montagnes, animer des pompes puissantes dont l'effet surpassera de beaucoup celui de ces hommes que l'on employait dans le dix-huitième siècle; mais nous pensons que tous ces avantages, acquis depuis peu d'années à l'industrie, et l'absence des charges résultant de redevances telles qu'on les payait autrefois, permettraient de reprendre ces mines avantageusement.

D'ailleurs, il est difficile de méconnaître, dans la région de Giromagny et d'Auxelles, l'existence d'un puissant réseau métallifère, argentifère et plombeux, où dominent un grand et riche filon, celui de *Teutschgrund*, et celui de *Saint-Jean*, autour desquels viennent se grouper et se croiser, dans des sens divers, des filons secondaires possédant comme eux des colonnes métallifères persistantes, et cette persistance même atteste la continuation de la richesse beaucoup au-dessous des anciens travaux.

Les eaux intérieures ne paraissent pas bien considérables, puisque l'on a pu pénétrer, à bras d'hommes, à plus de 300 mètres au-dessous de la vallée de la Savoureuse; des routes et des chemins de fer sillonnent

la contrée, les bois sont abondants et la houille se trouve à peu de distance.

Enfin, en rappelant que l'on avait commencé neuf galeries d'écoulement à la fin du siècle dernier, dans un moment où l'on connaissait mieux les mines qu'aujourd'hui, où les traditions pouvaient ne pas encore être tout à fait perdues, nous sommes porté à croire qu'on peut encore trouver de grandes quantités de minerais au-dessus des vallées les plus basses.

Nous ne pouvons pas ici entrer dans le détail des travaux qu'il conviendrait d'entreprendre et de la forme qu'il faudrait leur donner pour atteindre rapidement l'époque d'une production notable; mais nous sommes de ceux qui croient à l'avenir de ces mines, comme y croyait l'ingénieur Duhamel, malgré l'élévation du prix de la main-d'œuvre.

Ajoutons que ces montagnes cachent probablement encore à nos yeux bien des travaux superficiels et des affleurements que l'on rencontrera quand on en fera une étude détaillée au point de vue des mines, et quand on aura dressé une carte d'ensemble sur laquelle seront tracés tous les filons.

Nous avons bien des raisons d'exprimer cette opinion, et nous ne serions pas étonné, sans rien affirmer à cet égard, qu'un des rochers des environs de Giromagny, connu sous le nom de *Pierre-Écrite*, sur lequel sont gravées une flèche, une roue, etc., ne fussent des signes des mineurs anciens pour fixer la position et la direction de travaux souterrains inconnus aujourd'hui.

Cependant il est un certain ordre de difficultés à surmonter dont il est nécessaire de parler.

Quand les anciens travaillaient ces mines, au moyen âge comme dans le cours du seizième et du dix-septième siècle, les vallées de ces montagnes n'étaient occupées que par des mineurs, et on pouvait sans aucun empêchement établir sur les torrents les ateliers divers, ou se servir de leurs eaux pour alimenter les machines d'épuisement, représentées alors par des roues hydrauliques placées au dehors ou dans l'intérieur des travaux.

Tout cela existait dans le dix-huitième siècle, après 1741, et beaucoup de cours d'eaux étaient encore libres, même en 1848; mais aujourd'hui les anciens canaux sont à peu près détruits. A Giromagny, à Auxelles, à Plancher, on distingue à peine leur trace au milieu des bois et des broussailles.

Les cours d'eaux alimentent des fabriques de tissage importantes, ou autres; quelques-uns des anciens étangs ont été restaurés pour la même destination, et on trouverait peut-être quelque difficulté à utiliser ces mêmes eaux pour le service des mines, dans les points où il conviendrait qu'on pût les appliquer.

Certes, il était nécessaire de favoriser le développement de l'industrie

nouvelle qui vint se fixer dans ces vallées, mais il eût été heureux de concilier, quant au service des eaux, le travail de cette industrie avec celui des mines, et empêcher que la reprise de ces dernières pût être, dès le début, grevée de frais et d'obstacles qu'elle aurait pu ne pas avoir à supporter ou à vaincre.

Néanmoins, l'examen des lieux montre que les difficultés de ce genre peuvent être toujours facilement surmontées; seulement, en quelques points, elles entraîneront à des dépenses de première installation qui auraient pu être évitées.

Nous rappellerons encore combien il est regrettable que le système allemand n'ait pas été appliqué en France, et que l'administration des mines n'ait pas pu disposer de fonds capables de lui permettre d'ouvrir et de poursuivre, depuis soixante ans, dans ces montagnes des galeries d'écoulement.

A quels résultats ne serait-on pas parvenu, et quelle source nouvelle de richesse et de travail ne posséderait-on pas aujourd'hui dans ces contrées? Je ne veux pas m'étendre davantage sur tous ces détails qui réveillent dans l'esprit et y suggèrent une foule de réflexions bien sérieuses.

Prenant aujourd'hui les choses telles qu'elles sont, je dirai que les mines de Giromagny et de Plancher me paraissent offrir un avenir considérable, et un temps viendra certainement où des ingénieurs habiles, dont l'esprit ne se laissera pas détourner par les mille circonstances diverses qui se rencontrent dans de si vastes travaux, sauront, à l'aide des forces nouvelles qu'ils ont à leur disposition, atteindre les fonds de Teutschgrund, de Phennighturn, de Saint-Jean, d'Auxelles, etc., comme les parties inférieures aux mines de Plancher, la Grande-Montagne, Notre-Dame, etc.

Quant aux travaux de Cramaillot et de la Vieille-Hutte, et particulièrement pour cette dernière, leur recherche et leur reprise ne semblent pas devoir être difficiles, et la hauteur des montagnes au sein desquelles ils se trouvent, la forme escarpée de ces montagnes, semblent permettre une exploitation possible et durable par galerie d'écoulement.

Mines de Château-Lambert et du Tillot. — Quoique les mines de Château-Lambert et celles du Tillot se trouvent, l'une dans l'ancienne Franche-Comté, l'autre dans la Lorraine, la première dans la Haute-Saône, la seconde dans les Vosges, nous les réunissons dans un même groupe parce qu'elles appartiennent au même système de montagnes, et nous croyons même qu'elles communiquent entre elles.

Toutes deux sont ouvertes dans une des puissantes ramifications syénitiques du ballon d'Alsace, au milieu desquelles apparaissent des pointements dioritiques ou des roches porphyriques et des mélaphyres.

Château-Lambert, ou plutôt Chastel-Humbert, est un modeste village situé aux pieds d'un groupe de rochers escarpés et nus, à environ 1,000 mètres au-dessus du niveau de la mer, presque aux sources de l'Oignon dont les eaux vont se jeter dans la Saône.

Son église, ou le moustier de Château-Lambert, fut bâtie en 1616 aux frais de Philippe II, roi d'Espagne, et la consécration de cette église fut provoquée et faite aux frais du sieur François Sauvage, alors amodiataire des mines pour Sa Majesté Catholique.

Nous croyons donc qu'à cette époque ces mines étaient en pleine activité, et l'examen superficiel des travaux montre que l'on s'y trouve en présence d'une exploitation séculaire, comme à Giromagny ou à Plancher-les-Mines.

Si, en effet, on remonte vers les hauteurs qui dominent ce village, on voit une immense quantité de déblais quartzeux au milieu desquels on retrouve encore des fragments de pyrite et de sulfure de cuivre.

Ces mines ont été exploitées depuis un temps immémorial et ont subi, comme les autres, toutes les péripéties auxquelles donnaient lieu l'imperfection des moyens et l'approfondissement des travaux. De Genssane tenta de les mettre en exploitation en 1734. Il reprit, à cette époque, une galerie ancienne située au-dessus même de l'église, dans laquelle on pouvait entrer encore en 1870, et la termina en 1758 sur une longueur de 400 mètres.

Dans le centre de la montagne se trouvait l'emplacement de deux roues hydrauliques, taillé dans le roc, et pour lesquelles on faisait venir l'eau d'une distance d'environ 3 kilomètres.

L'inspection des lieux montre que tous ces travaux ont dû être développés sur une hauteur que de Genssane estime à 200 toises ou 400 mètres.

Monnet nous dit que le désaccord entre les intéressés, vers la fin du dix-huitième siècle, fut la cause de l'abandon *de la riche mine de Château-Lambert;* abandon qu'il déplorait et qui amena la ruine des roues.

Filons. — Il est impossible aujourd'hui de distinguer les filons à la surface du sol qui, sur d'immenses étendues, se trouve couvert de décombres ou de végétations; mais, d'après de Genssane, il devait y en avoir un grand nombre, encaissés dans la syénite, au milieu desquels on distinguait un filon principal suivant la direction N.-E. S.-O.

On y trouvait toutes les espèces de minerais de cuivre connus. De temps en temps on rencontrait des minerais d'argent et même de l'argent natif.

« Une espèce de minerai, dit de Genssane, m'a donné une once d'or « au quintal, » soit 30 grammes pour 48^{k},95, ou environ 600 grammes à la tonne.

« On sait, ajoute-t-il, qu'anciennement on tirait de l'or de ces mines. »

On voit encore aujourd'hui l'emplacement de deux fonderies dans les environs : l'une au sommet de l'un des affluents de l'Oignon, dite la Vieille-Fonderie, et l'autre sur les rives de l'Oignon, sur la paroisse du Haut-du-Tham.

De Genssane exploitait au milieu des vieux travaux, et probablement avec beaucoup de peine, des veines que les anciens avaient laissées à cause de la dureté de la roche.

On rentra dans ces travaux en 1847, on y retrouva des veines minces encaissées dans des roches très-dures, et on ne paraît pas avoir fait aucune exploration sérieuse.

Mine du Tillot. — Dans la même montagne que Château-Lambert, sur le versant oriental, on voit quelques amas de déblais composés essentiellement de quartz et de diorite, au milieu desquels on trouve facilement des minerais de cuivre. Ces déblais, situés à une grande hauteur au-dessus de la vallée et répandus sur une longue étendue, représentent les restes de l'exploitation des mines de cuivre du Tillot qui furent exploitées dans le cours du dix-huitième siècle, et particulièrement sans discontinuité de 1730 à 1757. Cette mine était comprise dans la concession faite par le duc de Lorraine à la compagnie de commerce Saur, en 1734.

On voit encore aujourd'hui un des filons que l'on y exploitait; il paraît être encaissé dans des diorites et parfaitement déterminé, peu incliné près de la surface, et il présente une épaisseur de près d'un mètre. On en extrayait du cuivre panaché et du cuivre carbonaté vert. Cette mine communiquait, croit-on, avec celle de Château-Lambert.

L'abandon des travaux fut dû, paraît-il, à l'insuffisance des moyens d'épuisement et à la découverte de nouveaux filons cuivreux plus rapprochés de la fonderie, alors située dans le vallon des Charbonniers, non loin de la route qui du Tillot conduit à Saint-Maurice.

D'après Monnet, 200 mineurs y produisaient moyennement 70 à 80 quintaux de cuivre raffiné par mois, ou environ 3,800 kilos.

La laverie fournissait chaque semaine à la fonderie 60 à 80 quintaux de mine rendant 25 pour 100.

Si ces chiffres sont exacts, il faut reconnaître qu'en obtenant, même aujourd'hui, une production double avec le même nombre d'ouvriers, on aurait bien de la peine à y réaliser des bénéfices.

On y connaissait trois filons, qui ont été exploités sans discontinuité de 1730 à 1759.

D'après le même ingénieur, il n'y aurait plus rien à faire dans les mines du Tillot; mais il n'en paraît pas de même de mines qui furent reconnues, tout près de la fonderie, dans le vallon des Charbonniers, où l'on découvrit un filon très-bon, dit-il. On voit encore aujourd'hui les traces des travaux qui y ont été exécutés.

MINES DE TERNUAY, ETC.

Quoique nous ayions parcouru quelques-unes des localités dont nous allons parler, situées dans la Haute-Saône, nous devons dire que nous n'avons pas vu les gisements dont il va être question, et nous reproduirons seulement les renseignements qui proviennent des documents anciens, ou quelques-uns de ceux que nous avons pu recueillir.

Les mines de *Ternuay* furent décombrées en 1748 par de Genssane.

Gangue des filons : quartz.

Minerai : galène argentifère, et un peu de blende renfermant :

70 livres de plomb,
2 loths d'argent au quintal.

Au *Mont-de-Vannes*, près de Fresse, travaux anciens dont on ne connaît pas l'importance, qui fournissaient du cuivre, du plomb et de l'argent.

Faucogney. — En 1755, on découvrit un assez beau filon de galène, à 1 kilomètre environ au nord de Faucogney. Ce minerai était disséminé dans le quartz. De Genssane, qui a fait travailler partout, dans l'espace de vingt ans, dans ces montagnes, et qui devait avoir une multitude de travaux improductifs et onéreux, en a aussi extrait des minerais.

Non loin de là, dit de Genssane, il y a une mine de Brauenstein. Il s'agit là probablement d'un filon de manganèse qui fut de nouveau découvert vers 1826, et qui a donné lieu aux deux concessions actuelles de Faucogney, situées à 2 kilomètres environ au N.-E. de Faucogney.

D'après les renseignements que nous avons recueillis, nous pouvons croire qu'il y a là un faisceau de filons parallèles, encaissés dans des roches d'apparence porphyrique, réguliers dans leur direction, irréguliers dans leur puissance, et reconnus sur une longueur d'environ 2 kilomètres.

Avec le manganèse oxydé terreux, se montrent le fer oligiste, le spath fluor, la baryte sulfatée, des calcédoines, de l'améthyste et du fer hématite.

Si ces filons, comme nous le croyons, sont ceux de Brauenstein dont a parlé de Genssane, nous devons ajouter qu'il dit en avoir fait extraire et qu'il y trouva 4 loths d'argent au quintal, soit environ 112 à 115 grammes aux 100 kilos.

« Je soupçonne, dit-il, que ce filon pourrait se convertir en mine d'argent en profondeur. »

Et je me permettrai d'ajouter que la nature des gangues qui accompagnent le manganèse donne lieu de croire à une transformation possible des minerais en descendant dans l'intérieur du gîte, et très-probablement à une modification dans la persistance du manganèse.

Mine de cobalt du hameau de La Mer. — A 4 kilomètres à l'est de Faucogney, se trouve un filon de cobalt arséniaté, terreux, argentifère, à peu de distance du hameau de La Mer[1].

Saint-Bresson, à une lieue de Faucogney. — Plusieurs filons de plomb peu riches, gangue spathique. De Genssane, y faisant travailler dans le siècle dernier, y a trouvé une druse de 12 pieds de diamètre. Tentatives infructueuses dans le siècle actuel. Les minerais portés à Plancher donnaient 60 pour 100 de plomb et une once d'argent au quintal ancien.

Département des Vosges.

Le département des Vosges, qui appartenait à la Lorraine, renferme, outre le Tillot, un grand nombre de mines qui ont été particulièrement exploitées au temps des ducs.

Il y en a parmi elles, telles que celles de Lusse, de Lubine, etc., aux environs de Saint-Dié, qui sont comprises dans les annexions de l'Allemagne et dont nous ne parlerons pas; mais les plus importantes d'entre elles se trouvent sur le territoire resté français.

Nous citerons seulement les mines suivantes :

Lacroix-aux-Mines ;
Le *Baudy* (peu éloignée de Château-Lambert et du Tillot); même chaîne;
Bussang et *Fraisse ;*
La *Rouge-Montagne* (Dietrich);
Remémont ;
Environs de *Remiremont.*

Mine de Lacroix-aux-Mines. — La mine de Lacroix, qui paraît avoir été la plus importante d'entre toutes, est située près du village de Lacroix-aux-Mines et non loin de la route de Sainte-Marie à Saint-Dié.

La mine était ouverte sur un filon qui, disait M. Élie de Beaumont, il y a longtemps (*Coup d'œil sur les mines*), après les filons de l'Amérique espagnole, est l'un des plus grands et des plus étendus que l'on connaisse.

Les découvertes nombreuses répandues aujourd'hui sur tant de points de notre hémisphère pourraient peut-être faire modifier cette opinion, mais il n'en reste pas moins constant, pour tous ceux qui verront ce gisement, qu'il y a là un très-puissant filon pouvant renfermer de grandes richesses dans ses profondeurs.

D'après Sébastien Munster (*Histoire de la Lorraine*), la mine de Lacroix fut découverte en 1315, et l'exploitation en fut entreprise par le duc Fré-

1. Élie de Beaumont. — *Carte géologique de la France*, page 418.

déric de Lorraine et continuée avec grands bénéfices par ses successeurs.

260 ans plus tard, c'est-à-dire vers la fin du seizième siècle et sous le règne de Charles III, les produits paraissent avoir été importants et s'être élevés au point de donner un bénéfice net équivalant à 750,000 fr.

« Ce récit, dit Dietrich, qui pourrait sembler exagéré, acquiert de la vraisemblance quand on voit le filon de Lacroix, l'un des plus considérables, sans contredit, de tous ceux que l'on connaisse en France, pour la puissance et la continuité. »

Vers 1633, les mines de Lacroix subirent les effets des événements qui ruinaient l'Alsace; elles furent abandonnées et paraissent être restées suspendues pendant plus de cinquante ans.

Ces mines reprirent une certaine activité sous Léopold I[er] qui, en 1699, nomma un surintendant général de ces exploitations, et, en 1734, elles étaient, comme toutes les autres mines de la Lorraine, dans les mains d'une compagnie nouvelle.

A partir de cette époque, on ne voit plus la prospérité ancienne et, soit que l'abandon des travaux pendant un certain nombre d'années ait accumulé les eaux intérieures ou déterminé des éboulements, soit que, en présence de ces nouvelles difficultés, les nouveaux exploitants n'aient pas eu les forces suffisantes pour sortir des anciens ouvrages, les produits n'étaient pas bien élevés; d'après Monnet, ils furent seulement :

En 1736, de 954 marcs d'argent, 232 kilos.
En 1740, 751 — 183 —
La recette excéda la dépense de 23,356 livres.

En 1754, les mines de Lacroix passèrent dans les mains d'une nouvelle société, pour 35 ans à partir de janvier 1755.

Cette nouvelle période est encore une période languissante pendant laquelle les produits n'ont que bien peu d'importance et semblent même aller en décroissant.

Ainsi, d'après Monnet, on avait extrait :

En 1757, 262 marcs d'argent, 599 quintaux de plomb, 1,600 livres de litharge.
En 1759, 229 marcs d'argent, 52,970 livres plomb.
En 1763, 148 — 21,532 —
En 1771, 103 — 11,696 —

« Cependant, dit le même auteur près de qui nous puisons ces détails,
« les espèces de mines n'ont pas déchu et on y a toujours trouvé à peu
« près la même quantité d'argent. »

Mais la machine hydraulique destinée à l'épuisement des eaux ne produisit pas tout l'effet qu'on en attendait; en 1758, un incendie vint détruire la grande laverie, et plus que jamais on fut obligé de travailler dans les hauts et non sur le fond.

En 1771, on n'entretint presque plus rien : de trois laveries, il n'en reste plus qu'une, et, s'il faut encore en croire Monnet, l'ancienne fonderie subit la plus grande détérioration (*État des mines*, 1780).

A partir de cette époque jusqu'en 1777, les difficultés de l'exploitation ayant augmenté, les mines sont concédées à une société de mineurs et d'habitants du pays qui y firent travailler pendant huit ans, et y mirent tout en fort mauvais état (Dietrich).

Cette situation déplorable, depuis l'abandon dont la mine de Lacroix avait été malheureusement frappée, semble s'expliquer tout naturellement par ces seules paroles de Dietrich, qui écrivait en 1784 : « Depuis soixante ans, on tâtonne dans les vieux travaux. » On ne pouvait y trouver que les minerais délaissés par les anciens, et leurs rebuts.

Le 1er janvier 1785, toutes les mines du bailliage de Saint-Dié passèrent entre les mains d'une nouvelle compagnie, en vertu d'une concession du 27 avril 1784.

Cette nouvelle société apporta, pendant 21 ans, dans tous ses actes, la plus louable persévérance ; mais elle ne put surmonter les graves obstacles que présentaient les anciens travaux, par suite du manque de capitaux suffisants et des événements de la révolution ; enfin le décret de 1808 qui priva les concessionnaires de Lacroix et de Sainte-Marie, réunis en une seule entreprise, des droits d'affouage dans les forêts voisines auxquels leur donnaient droit les concessions antérieures (*Compte rendu de* 1846), créa de nouvelles difficultés.

Après toutes ces luttes, tous ces ralentissements et tous ces abandons, si nuisibles et si funestes, les travaux furent définitivement suspendus en 1806, pour être repris en 1822 par une nouvelle compagnie, qui travaillait en même temps dans la vallée de Sainte-Marie-aux-Mines.

On avait entrepris, d'après les conseils de M. l'ingénieur Voltz, une galerie d'écoulement qui devait atteindre le filon à 200 mètres du jour. Mais cette galerie exigeait 10 à 12 ans de travail : on ne l'acheva pas. On fit alors installer une grande roue hydraulique pour épuiser les eaux et examiner le fond de la mine ; un violent orage emporta la roue.

C'est alors que la compagnie projeta l'établissement d'une machine à colonne d'eau ; mais, au moment où on y allait mettre la main, les fonds manquèrent par suite de la faillite de l'un des principaux intéressés.

On cessa les travaux sans avoir pu pénétrer dans les parties vierges du filon. Les ouvrages furent entretenus autant que possible jusqu'en 1833, et ensuite complétement abandonnés.

Dans ces dernières années, et vers 1864, c'est-à-dire après 30 ans d'un nouvel abandon, les concessionnaires actuels ont repris une galerie d'écoulement qui correspond presque au centre des travaux, au-dessous du village de Lacroix ; ils y ont travaillé pendant environ trois ans ; ils ont rencontré le voisinage du filon, ou le filon lui-même ; ils ont extrait quelque peu de galène dont était imprégnée la roche granitique qu'ils

traversaient, et ils s'arrêtèrent sans poursuivre leurs recherches, sans faire d'autres efforts pour pénétrer au-dessous des travaux anciens. Quelques essais ont été faits de la même manière et à la même époque, sans plus de constance, en d'autres points du filon, et ces essais furent abandonnés de la même manière.

Le gisement de Lacroix-aux-Mines, qui a été l'objet de tant de tentatives infructueuses depuis près de deux cents ans, dans lequel, depuis cette époque, on n'a réellement pas pu parvenir à voir le fond des anciens travaux, consiste, ainsi que nous l'avons dit plus haut, en un filon presque vertical, encaissé dans le gneiss, dirigé N.-N.-E. S.-S.-O., courant presque parallèlement à la jonction du gneiss et d'un granite porphyroïde passant à la syénite; sa puissance atteint en quelques points 30 et 40 mètres, et on l'a reconnu sur une longueur de plus de 4,500 mètres (De Billy, *Cartes géologiques*).

Les plans des principales galeries, que nous retrouvons dans l'atlas minéralogique de Monnet, donnent à ces galeries un développement linéaire de près de 2,400 mètres, et la profondeur des travaux, au-dessous des points les plus élevés des affleurements, paraît avoir dépassé 200 mètres en quelques points.

On en extrayait les minerais suivants :

	Cuivre.	Argent.	
Cuivre gris....	23 livres,	8 onces 1/2	au quintal ancien (5^k,10 aux 1000 kil.).
Mine d'argent..	17 à 20,	1 marc,2 à 3 onces,	6^k,16 à la tonne.
Galène, plomb..	40 à 60,	2 onces,	1^k,200 à la tonne.
Argent natif			dans une gangue ferrugineuse.
Argent gris		1 marc 1/2,	environ 7 kil. à la tonne.
Plomb carbonaté..	dans certains points.		
Plomb phosphaté..	dans certains points.		

Les travaux ont été faits particulièrement sur trois points que l'on connaît sous les noms de : *Saint-Nicolas*, *Saint-Jean*, le *Chipal*.

C'est à Saint-Jean, et particulièrement au Chipal, qu'ils ont été le plus développés.

Aujourd'hui quand on visite les lieux, on ne reconnaît que bien difficilement le filon qui est presque partout recouvert par la végétation. Mais on retrouve les déblais des anciens travaux quoique la majeure partie soit cachée comme le filon et qu'on en ait enlevé beaucoup pour le service des chemins.

Lorsque l'on considère les matériaux extraits de la galerie d'écoulement poursuivie dans ces dernières années, et qu'on les compare avec la nature des déblais anciens des travaux de Saint-Jean ou du Chipal, on reconnaît une différence considérable dans leur composition.

Les premiers, peu métallifères, sont presque exclusivement composés d'une roche granitique pierreuse et dure, et les seconds montrent au contraire une matière terreuse et argileuse qui accompagne générale-

ment les métaux dans les points de leur gisement où ils sont les plus abondants et les plus riches.

Cette nature des déblais, au milieu desquels nous avons trouvé des arséniates, nous montre, croyons-nous, que le puissant gisement de Lacroix renferme des parties métallifères riches, des colonnes puissantes qui ont attiré particulièrement l'attention des anciens. C'était le fond de ces colonnes qu'il fallait trouver, et c'est cette recherche contre laquelle ont failli tous les efforts depuis plus de deux siècles.

On voit encore aujourd'hui le puits de Saint-Jean sur lequel était placé la roue hydraulique vers 1822. Ce puits de grande dimension a, dit-on, près de 100 mètres de profondeur, il est envahi par les eaux ainsi que le fond des travaux; il est rectangulaire, muraillé sur toute la hauteur et a environ 4 mètres sur 2; enfin on voit au pied de la montagne les ruines de la fonderie et de la laverie.

Mines de Bussang, de Fraisse, etc. — Nous ne croyons pas utile d'entrer dans de plus grands détails sur les mines de la Lorraine qui, ainsi qu'on peut le voir par le peu que nous avons dit, mériteraient un examen plus profond; nous nous bornerons à rappeler les mines de Bussang situées sur la route de Sainte-Marie à Saint-Dié, où se trouvent des déblais qui accusent la présence d'anciennes exploitations importantes. Monnet trouva dans les déblais des minerais qui rendaient 8 onces d'argent ou 240 grammes environ aux 100 kilog., et 25 livres de cuivre au quintal ancien. La Compagnie Saur tenta inutilement de reprendre ces mines.

D'après les comptes rendus de 1846, il y existe encore des régions vierges.

Nous rappellerons encore les mines des Charbonniers, de Fraisse et des environs de Remiremont qui, toutes abandonnées depuis longtemps, étaient considérées par Duhamel, Mallet et Dietrich comme devant avoir une certaine importance si on les attaquait par des galeries d'écoulement; elles sont situées non loin du Tillot et nous dirons que la Compagnie Saur qui avait travaillé sur la plupart de ces gisements, le plus souvent au milieu des travaux anciens, avait construit, près de Saint-Maurice, une fonderie aujourd'hui en ruine, et où on trouve encore des scories résultant du traitement des minerais de ces localités.

Mine de Baudy. Ce sont des mines de plomb sur lesquelles de Genssane fit travailler dans le siècle dernier. On y avait fait alors une galerie d'écoulement. On y a trouvé le molybdène sulfuré.

Environs de Saint-Dié. Dietrich cite encore sur la paroisse Sainte-Marguerite, non loin de Saint-Dié, une mine de cuivre et plomb fort ancienne, qui aurait été exploitée au compte des ducs de Lorraine. L'ancienne Compagnie Saur tenta d'y rentrer, mais elle l'abandonna

après avoir déblayé environ 200 mètres de galerie. Dietrich dit encore que, suivant la tradition, il y avait eu une fonderie dans la vallée de Saint-Dié.

Mines de Sainte-Marie-aux-Mines. Nous ne dirons que quelques mots de ces mines qui, bien que soumises encore aux charges et aux avantages de la loi française de 1810, appartiennent aujourd'hui à l'Allemagne. Nous ne pouvons pas oublier qu'elles étaient françaises hier encore et, d'ailleurs, de ce que nous allons dire rapidement nous pourrons peut-être déduire quelques enseignements utiles.

Ces mines furent travaillées dans les temps les plus reculés et dans le courant du dixième siècle. Ces travaux qui donnèrent lieu à la fondation de plusieurs pays et notamment à la création d'Écherry, dans le val de Liepvre, furent vraisemblablement suspendus dans le courant du douzième ou du treizième siècle, et ils étaient oubliés au commencement du seizième quand l'examen de vieilles chartes en fit connaître l'existence aux seigneurs de Ribeaupierre. C'est en 1525 que commencèrent les nouveaux travaux, et en 1530 l'empereur Charles-Quint accordait à l'archiduc Ferdinand d'Autriche et au seigneur de Ribeaupierre la jouissance des mines de Sainte-Marie à titre de fief relevant de l'Empire.

Ces mines acquirent une grande réputation. En 1530 et 1539 on en tirait deux masses d'argent natif de trois quintaux chacune. Bientôt on put voir dans la vallée douze usines pour la préparation et le traitement des minerais; le produit annuel était alors d'environ 3,000 marcs d'argent, des quantités importantes de plomb et de cuivre, et plus de 3,000 ouvriers étaient occupés à leur extraction ou à leur élaboration.

Pendant que les travaux s'étendaient en territoire allemand sur la rive droite de la Liepvre, des découvertes étaient faites aussi sur les terres lorraines, et l'on y pénétrait dans des travaux intérieurs inconnus jusqu'alors.

Cette période prospère se prolongea pendant plus d'un siècle, jusqu'à 1630. A ce moment les mines furent enveloppées dans le désastre général que causait la guerre de trente ans, et, malgré les traités de Nimègue (1678) et de Riswick (1697), elles ne reprirent quelqu'activité que vers 1712.

En 1735 elles produisaient 33,340 livres de cuivre,
222,210 livres de plomb,
4,442 marcs d'argent,

dont le dixième était payé en nature au seigneur, le duc des Deux-Ponts.

En 1749, par suite d'une inondation, les eaux de la Liepvre refluèrent dans la galerie d'écoulement la plus basse. Elles submergèrent les tra-

vaux que l'on exploitait encore en contre-bas avec avantage. Des éboulements s'y produisirent et ces travaux furent abandonnés. On n'y est plus entré depuis cette époque.

Malgré ce funeste événement les mines de Sainte-Marie se soutinrent encore, quoique péniblement, jusqu'à la fin du siècle, jusqu'à l'époque où, par le décret du Directoire de pluviôse an VI, elles furent privées de leur affectation de bois. Les travaux s'étaient d'ailleurs considérablement approfondis, et cette situation créant des difficultés toujours plus grandes, elles furent suspendues en 1798.

On les a vues revivre en 1806, mais d'une manière languissante, devenir l'objet des efforts de deux compagnies, et retomber pour ne plus se relever.

La concession de Sainte-Marie renferme de nombreux filons, généralement insérés dans le gneiss, et courant dans les vallées de la petite Liepvre, de Phaunoux, de Surlatte, de Saint-Philippe, de Fertrupt et de Sursite.

Ils consistent en filons cuivreux et argentifères, en filons plombeux et en filons de cobalt. Les filons argentifères renferment divers minerais d'argent, tels que de l'argent natif, gris, rouge, vitreux, et des cuivres gris argentifères souvent associés à du cobalt et à de l'arsénic.

L'une des mines, celle de Gabe-Gottes, dans laquelle on était rentré en 1831, produisait un cuivre gris, dont l'analyse a fourni pour cent :

Argent.	1,26
Cuivre.	40
Arsénic.	30
Soufre.	25

La gangue des filons se compose généralement de chaux carbonatée. Les filons de cuivre gris, et notamment celui de *Gabe-Gottes*, ont fourni, d'après un mémoire de M. de Billy, une teneur moyenne de 0,0676 pour 10 grammes de schlick, soit de 676 grammes d'argent aux 100 kilog.

Si on examine tous les filons de Sainte-Marie au point de vue de leurs directions :

On voit que ceux de cuivre et d'argent courent sur les heures 1, 1 $^1/_2$, 7, 7 $^1/_2$, 8 $^1/_2$ et 9 $^1/_2$.

Les filons de galène, sur heures 1 $^1/_2$, 2 $^1/_2$, 4 $^1/_2$, 7 $^1/_2$, 10, 12.

Les filons de cobalt, sur heures 4, 10 et 1 $^1/_2$.

On voit donc que les filons affectent des directions très-variées et qu'ils semblent former des groupes se rapprochant des directions principales N.-S., N.-E.-S.-O., E.-O. et N.-O.-S.-E.

Les uns et les autres présentent des minerais disposés en colonnes et en amandes qui ont été travaillées avec la même ardeur sans qu'il semble y avoir eu de direction particulièrement privilégiée.

On les a poursuivis jusqu'à de grandes profondeurs, et ils ont été l'objet de travaux considérables.

On en aura une idée quand nous rappellerons qu'une galerie d'écoulement avait atteint 8,000 mètres de longueur, qu'on y voyait d'autres galeries de 1,500 et de 2,000 mètres, et des puits descendant jusqu'à des profondeurs de plus de 300 mètres.

La plupart de ces mines sont épuisées dans leurs parties supérieures. Si elles renferment encore dans les fonds les ressources que les anciens mineurs assurent y avoir laissées, il est certain qu'elles possèdent encore de grandes richesses, mais l'extraction de ces richesses semble devoir exiger, dès le début de la reprise, l'emploi de sommes considérables.

Mines du mont Jura. — Nous allons quitter la chaîne des Vosges qui, pour ainsi dire, touche par son extrémité méridionale aux montagnes du Jura.

Nous ne connaissons pas aujourd'hui dans ces dernières localités d'autres mines que des mines de fer et, pourtant, si l'on s'en rapporte aux documents anciens, il en aurait existé qui n'auraient pas laissé que d'offrir une certaine importance.

Nous n'avons pas visité ces localités et nous devons même dire que les renseignements que nous devons à l'obligeance de M. Desor, si connu dans la science, de M. le professeur Jaccard ou M. Benoît, membre de la Société géologique de France, sont tout à fait négatifs.

Cependant, comme ceux que nous allons donner proviennent de M. de Genssane, mineur du dix-huitième siècle, dont la sincérité ne laisse aucun doute, nous ne pouvons pas nous dispenser de les produire tels qu'ils ont été exprimés.

Peut-être les traces qu'a vues de Genssane ont-elles disparu et toute tradition est-elle entièrement perdue. Il n'y aurait à cela rien qui dût surprendre, surtout quand nous voyons les mines dont nous venons de parler arrêtées en 1749, et même plus tard, et déjà presque entièrement oubliées, ou cachées sous les éboulements et les broussailles.

D'ailleurs la présence de ces mines est d'autant plus vraisemblable qu'elles existeraient dans les roches calcaires du Jura, et ces mêmes calcaires se montrent au delà du massif primitif des Hautes-Alpes, avec des gisements métalliques que l'on a exploités pendant bien des années.

Dans le bailliage de *Baumes*, à peu de distance d'*Ornans*, filon d'argent qui donna 3 onces au quintal ancien, soit environ 180 grammes aux 100 kilog.

Nous savons, dit de Genssane, que les Romains tirèrent beaucoup d'or de cette province, surtout du mont Jura. « On voit les traces de leurs « anciens travaux. »

Un de ces anciens travaux se montre sur le mont d'Or, entre Jogne et Valorbe, « dans lequel, ajoute-t-il, j'étais descendu à une grande pro-

« fondeur sans pouvoir atteindre le fond, où le travail s'élargit considé-
« rablement. »

Ce travail était fait au ciseau et au pic, et par conséquent avant l'invention de la poudre.

A deux lieues de là on pouvait voir les ruines d'une grande fonderie, près du village de *Motte*, et beaucoup de scories. On y a trouvé des médailles romaines qui semblent fixer l'époque où ces mines furent travaillées pour la dernière fois.

De Genssane cite encore les faits suivants:

Au-dessus du village de *Métabief*, mine de fer verte qu'on fond à la forge de *Roche-Jean*. Souvent, après la fonte, on trouve au fond du fourneau une espèce de matte très-riche en argent.

Près du village de *Moret*, au haut de la montagne de *Gueulan* et près du village de *Long-Chaumois*, existent d'autres anciens travaux. Ceux de Long-Chaumois auraient été exécutés sur un filon quartzeux.

Le minerai qu'on en a extrait paraît être un minerai de fer dont quelques échantillons ont donné à l'essai un peu plus de 1 gros d'or par quintal ancien, soit environ un peu plus de 76 grammes à la tonne de 1,000 kilos.

« J'estime, dit de Genssane, que ce filon mérite attention. »

De Genssane parle encore de travaux anciens aux environs de *Saint-Claude*. Ceux-ci, ainsi que les précédents, sont aujourd'hui tout à fait inconnus aux habitants, ainsi qu'aux géologues qui ont parcouru ces contrées.

Il nous reste à signaler encore l'indication d'une mine d'argent à *Charquemont*, dans le mont Jura, non loin de *Saint-Hippolyte*, sur le Doubs. Cette mine, d'après Dunod[1], était abandonnée en 1737, pendant qu'on travaillait dans le comté de Bourgogne celles de Château-Lambert et de Plancher-les-Mines.

Il est possible que ces indications diverses n'aient qu'une bien minime importance, mais nous devions d'autant moins les omettre que nous sommes du nombre de ceux qui pensent que, dans cet ordre d'idées, il n'y a ni petites choses ni petits indices qui ne doivent être étudiés attentivement et avec soin.

C'est dans ce sens que nous rappellerons le souvenir suivant, qui se rattache en quelque sorte aux productions métallifères de la Haute-Saône :

***Bourbonne-les-Bains* (*Haute-Marne*), *mercure*.**

La présence de ce métal était signalée par Hellot, 1770, dans sa note des mines de France[2].

Suivant lui, il aurait été découvert en 1739, près le Faybillot, entre la

1. Anciens minéralogistes.
2. *De la Fonte des Mines.*

Bourgogne et la Franche-Comté, dans une terre argileuse, qui contenait ou $\frac{1}{300}$ ou $\frac{1}{30}$ (1), c'est-à-dire de 3 ou 33 de métal par tonne, et dans une carrière appartenant au marquis de la Charce. Aujourd'hui on n'a même pas conservé le souvenir de cette découverte, quelque importantes qu'aient pu en être les conséquences.

Si on jette un coup d'œil sur la carte géologique de Royer et Barotte, on voit surgir, non loin de Faybillot, le pointement granitique bien connu de Buxières-les-Belmont. Ce pointement relève une bande étroite de terrains anciens, qui se prolongent au-dessous des marnes irisées et des grès et calcaires infraliasiques.

Les conditions géologiques de ces contrées permettent donc d'y admettre la possibilité de l'existence de substances métalliques et même du mercure, que l'on exploite en Autriche, à Idria, en Toscane, à Castellazzara, au milieu des calcaires et des argiles.

La découverte de Faybillot est donc possible, et il reste à retrouver l'endroit où elle fut faite. Quant à son importance, on ne saurait rien déduire de la découverte et de son abandon presque immédiat.

En se reportant au temps, il sera facile de reconnaître que les recherches faites par des paysans devaient être arrêtées au premier obstacle, et que ces recherches ne pouvaient pas être stimulées par l'idée de leur importance, importance beaucoup plus faible à cette époque qu'aujourd'hui, et qui, d'ailleurs, devait être alors entièrement méconnue.

Nous rappelons encore que Guillaume Budé, dans son livre *de Asse*, écrit vers 1524, parle de mines argentifères qui auraient existé dans l'évêché de Langres, dont il ne nous a pas été possible de retrouver les traces, et que, dans le journal de Verdun de 1716, il est question d'une mine métallique de même nature, située à Bleicourt, entre Joinville et Blaize. Nous rappelons ces souvenirs sans chercher à en interpréter la valeur.

1. L'indication de $\frac{1}{30}$ est donnée dans le *Journal des Mines*, t. I, p. 77.

II

Groupe des Alpes.

Alpes. — Les Alpes centrales françaises, comprenant la Savoie et une partie du Dauphiné, embrassant dans leur ensemble les départements de la Savoie, de l'Isère et des Hautes-Alpes, portent aussi les empreintes d'excavations minéralurgiques qui, dans des temps plus ou moins reculés, paraissent avoir été l'objet d'exploitations prolongées.

Un grand nombre de ces exploitations nous seraient encore aujourd'hui tout à fait inconnues, si les chasseurs de chamois et les pâtres n'en avaient découvert les traces, et si quelques noms, tels que ceux d'Argentine, d'Argentière, etc., n'avaient été fixés au sol comme pour appeler notre attention et suppléer en quelque sorte aux traditions qui nous manquent.

Quand on a parcouru les anfractuosités des hautes chaînes des Alpes; quand on a gravi, comme nous avons eu occasion de le faire plusieurs fois, les pentes escarpées et abruptes, au milieu des rochers et des pierres que le temps et les intempéries ont détachés de leurs cimes; quand, enfin, on se représente les exigences du travail des mines en général, on ne peut réprimer un certain sentiment de surprise à la vue de ces anciennes excavations abandonnées que l'on a pu rencontrer à des hauteurs de plus de 2,000 mètres, au pied des glaciers et des neiges éternelles, dans des lieux presque inaccessibles aujourd'hui.

Telle est la mine de Courmayeur, située sur le versant italien du Mont-Blanc, où le *Trou des Romains* rappelle l'époque de son exploitation; telles sont les mines de la chaîne des Rousses dans l'Isère, non loin du bourg d'Oisans, dont nous parlerons plus loin, ou celles qui se trouvent disséminées au pied des glaciers du Mont-Blanc; et il est probable que nous ne connaissons pas toutes celles qui peuvent avoir été travaillées jadis sur les hauteurs de ces gigantesques montagnes.

Pourtant, notre étonnement disparaît peu à peu quand nous réfléchissons aux diverses dominations qui se sont succédé dans ces contrées;

aux modifications que les événements politiques ont fait subir, à diverses époques, à leur commerce comme à leur industrie, et aux variations qu'ont pu éprouver les prix des métaux.

Après les Allobroges, les Centrons et autres peuples qui, aux temps gaulois, couvraient la Savoie et le haut Dauphiné, les Romains vinrent activer dans ces montagnes le commerce et la civilisation, et rien ne pouvait plus en faciliter le développement que la création de grandes voies, comme celle des Gaules en Italie, de la métropole de Vienne à Turin, tracée sur les hauteurs, au travers de l'Oisans.

Après la chute de l'empire romain, le mouvement de ces grandes voies s'arrêta, et la contrée qu'elles traversaient, presque réduite à elle seule, semble être tombée dans l'oubli.

Plus tard, pendant le huitième siècle, les Sarrazins, fuyant devant l'épée de Charles-Martel, vinrent chercher un refuge dans ces montagnes; ils y firent de nouvelles invasions pendant les neuvième et dixième siècle, et s'y maintinrent jusque dans le courant du onzième.

A cette époque (1027), la Savoie et la Maurienne, berceau de la famille du roi actuel de l'Italie, constituaient un État distinct que dominait Humbert Ier, et le Dauphiné se formait vers le même temps, aux dépens du royaume d'Arles, sous la maison des dauphins de Vienne.

La Savoie, après avoir subi bien des péripéties, devint française en 1792; piémontaise en 1814, elle fut annexée de nouveau à la France en 1860, à la suite de la guerre de 1859, tandis que le Dauphiné avait été réuni à la France sous le règne de Philippe de Valois, en 1349.

A cette dernière époque, un grand nombre de châteaux existaient sur le roc des montagnes ou sur le sol des vallons, et un peu de l'activité romaine avait pu renaître; mais tous se sont écroulés avec la féodalité : il n'existe plus que quelques pierres des uns, et la charrue du laboureur passe sur l'emplacement des autres.

Les grandes voies de communication, abandonnées depuis longtemps, furent détruites par les intempéries; l'industrie se localisa de plus en plus, et le commerce prit une autre direction et une autre forme; les guerres de religion et d'autres fléaux vinrent aussi, à plusieurs reprises, désoler ces contrées qui, plus que jamais, restèrent oubliées au milieu des glaciers qui les dominent.

Sous l'Empire de Napoléon Ier, de nouvelles grandes voies ont été créées pour relier la France et l'Italie; ces grandes voies, achevées aujourd'hui, traversent les montagnes, comme celles des Romains, mais on ne les voit plus sur les hauteurs, et l'art de l'ingénieur les conduit dans le fond des vallées, où elles ne rencontrent plus les forêts qui jadis, en certains points, rendaient l'accès de ces vallées impénétrable, et s'étendaient jusqu'auprès des sommets.

Le tracé de ces voies est plus que jamais favorable au développement du commerce, mais il se prête moins que celui des voies antérieures aux

recherches de mines dans les montagnes, dont le voyageur ne voit plus que les flancs déchirés et souvent inaccessibles.

Ce rapide examen nous montre que les mines dont nous voyons les vestiges ont dû être exploitées au temps des Romains, perdre leur activité sous les rois bourguignons, fournir aux Sarrazins les métaux dont ils avaient besoin pour leur défense ou pour les usages de la vie, et présenter jusqu'à nos jours des périodes diverses d'activité et d'abandon.

Les comtes, et plus tard les ducs de Savoie et les rois de Piémont, firent exploiter les mines de leur pays pour leur propre compte, ou en donnèrent la concession à des compagnies; les anciennes exploitations du Dauphiné furent reprises par les dauphins ou par les seigneurs féodaux; mais elles paraissent avoir été généralement délaissées depuis cette époque jusqu'au siècle dernier.

Dans ce siècle, des reprises nombreuses furent faites, notamment sur les mines de cuivre de la Savoie; ces reprises furent arrêtées par des causes diverses auxquelles les événements politiques n'étaient pas étrangers, et, à l'exception des mines de fer, la plupart d'entre elles sont restées dans l'abandon jusqu'à nos jours (1878).

Nous devons néanmoins ajouter que, lorsqu'on a parcouru les contrées où ces mines se trouvent; lorsqu'on y a vu les vallées profondes, les pentes escarpées et les cimes gigantesques, on comprend facilement, malgré l'absence des traditions, qu'elles devaient ressentir l'effet des moindres fluctuations dans les prix des métaux, et que leurs conditions économiques ont dû varier singulièrement dans le cours des temps.

Par conséquent, sans rappeler les autres causes qui, pendant les siècles derniers, ont entravé le développement de l'industrie minérale, dans les Alpes comme en France, on peut raisonnablement y attribuer l'abandon d'un grand nombre de travaux aux difficultés des transports, à l'éloignement du combustible, ou aux modifications des prix des métaux.

Les chemins de fer qui pénètrent aujourd'hui dans ces vallées, ou ceux qui y pénétreront bientôt, les voies secondaires dont le nombre s'accroît de jour en jour, et une connaissance plus approfondie des lieux et des circonstances qui les entourent, modifieront-ils avantageusement les conditions d'existence des gisements métalliques des Alpes? C'est ce que l'avenir nous dira; c'est ce que l'on pourra peut-être déduire aussi de ce que nous allons exposer.

Aperçu géologique. — La géologie des Alpes a été illustrée par un grand nombre de savants. C'est de Saussure qui, le premier, en 1779, en fit connaître méthodiquement la structure et y distingua les roches primitives et les roches fossilifères. Brochant de Villiers, Studer, Fournet, Alphonse Favre, Élie de Beaumont, Dausse, etc., nous ont donné les descriptions de leurs diverses parties, et aujourd'hui nous pouvons étudier tous les détails de cette grande nature dans les remarquables cartes

géologiques de MM. Pillet, Lory, Vallet, pour la Savoie; de M. Lory pour l'Isère et le Dauphiné. Nous devons encore rappeler le travail de M. de Mortillet[1], où nous avons puisé un grand nombre de renseignements.

Sans entrer dans de longues considérations à ce sujet, nous dirons que les Alpes centrales, considérées dans leur ensemble et d'une manière générale, sont formées de protogines, de gneiss, schistes talqueux et micacés, qui semblent surgir du sein des roches anthracifères et des calcaires jurassiques et néocomiens, sur lesquels viennent s'appuyer des terrains plus récents.

Les protogines forment les hautes cimes et les aiguilles déchiquetées qui s'élancent vers les plus grandes hauteurs. On peut les considérer comme formant l'ossature intérieure des Alpes. Les schistes divers qui recouvrent leurs flancs se modèlent sur leurs formes et, suivant le point où on les observe, on peut y voir les schistes cristallins proprement dits, ou les terrains siluriens et devoniens métamorphisés.

Le terrain anthracifère, très-développé dans les Alpes, se présente en certains points, comme dans l'Isère, sous les formes ordinaires du terrain houiller; mais dans beaucoup d'endroits, comme dans les vallées de l'Arc, de l'Arve et de l'Isère, il se montre sous forme de schistes talqueux ayant toute l'apparence du *verrucano* des Italiens. Ce terrain, comme la plupart de ceux des Alpes, est souvent disloqué, mouvementé et transformé à un haut degré. On en a trouvé des lambeaux enclavés comme des coins étroits et serrés dans les terrains cristallins, ou placés dans des situations telles, que des géologues éminents croyaient devoir les rapporter au lias. Ce sont ces situations particulières du terrain houiller dans certains cas qui ont donné lieu à ces nombreuses discussions qu'on se rappelle encore, surtout au sujet de ce que l'on désignait sous le nom « d'anomalie de Petit-Cœur. »

Le trias apparaît spécialement sous forme de cargneules, de grès et de dolomies, généralement peu développées à la surface dans la partie que nous considérons.

Les calcaires jurassiques et néocomiens enveloppent les roches anciennes, sur lesquelles ils s'appuient souvent directement; leur étendue est immense. Ils contrastent avec ces dernières par leur couleur blanche aussi bien que par leurs formes, et ils constituent une série de puissantes montagnes profondément accidentées, aux couches contournées et repliées, qui s'étendent au loin, dans le Jura, le Dauphiné et la Provence.

En général, les serpentines, les euphotides, les diorites, etc., sont peu abondantes; on ne les trouve que sur quelques points, mais l'ensemble des terrains anciens et paléozoïques présente partout les caractères d'un métamorphisme profond. L'amphibole pénètre les schistes sur de grandes

1. Géologie et minéralogie de la Savoie.

étendues, et des dykes de spilite traversent quelques contrées sur de grandes distances.

Les gisements métalliques se montrent dans les roches cristallines, dans le terrain anthracifère et dans le lias; elles abondent surtout dans les premières qui, considérées seulement à la surface du sol, semblent constituer des massifs isolés et indépendants; mais, en réalité, ces massifs se relient souterrainement les uns aux autres, et ils ne sont séparés que par des intervalles plus ou moins étendus, occupés par les roches calcaires qui les recouvrent.

On peut ainsi distinguer cinq massifs de roches primaires, qui sont:

1° Le massif de *Brévent* et des *Aiguilles-Rouges*, dans le Faucigny, situé sur la rive droite de la vallée de Chamonix.

Son étendue en France est d'environ 100 kilomètres carrés. Il est célèbre par la divergence d'opinions que suscitèrent les granites de Valorcine et par les observations de de Saussure sur les conglomérats et les poudingues du même pays.

Il est particulièrement formé de roches granitoïdes, de gneiss et de micaschistes. On y connaît quelques pointements serpentineux et dioritiques, ainsi que des filons de pegmatite; mais les substances métalliques connues y sont peu abondantes.

Il est recouvert à l'ouest, vers Servoz, par les schistes du lias;

2° Massif du *Mont-Blanc*. Ce massif est à peu près renfermé entre les vallées de Chamonix, de Montjoie, de l'Allée-Blanche et des limites Est de la France.

Son étendue peut être d'environ 400 kilomètres carrés. Les protogines et les gneiss y sont recouverts de schistes plus ou moins talqueux qui deviennent amphiboliques, comme dans la vallée de Montjoie. La serpentine apparaît en quelques points dans les stéaschistes, près de leur ligne de contact avec les protogines.

En Italie comme en France, sur les deux versants de ces montagnes gigantesques, on voit de nombreux gisements métalliques qui abondent surtout dans les terrains schisteux;

3° Le troisième massif commence à la vallée de Beaufort. Il coupe obliquement une partie de la Savoie et s'étend jusque dans le département de l'Isère. Il traverse la vallée de ce nom, celle de l'Arc, entre Aiguebelle et la Chambre, et se poursuit du côté d'Allevard jusqu'à l'Olle.

Son étendue est d'environ 1,200 kilomètres carrés. Il est particulièrement composé de schistes plus ou moins micacés et plus ou moins talqueux, et renferme un grand nombre de gisements de plomb et d'argent, de cuivre et de fer;

4° Le quatrième massif constitue ce groupe de montagnes profondément découpées dont les cimes sont couvertes de glaciers et de neiges perpétuelles, dans l'Isère et dans les Hautes-Alpes. Ce sont les chaînes qui dominent les eaux de la Romanche, de l'Olle, de l'Isère et du Drac,

telles que les chaînes de Belledonne, des Grandes-Rousses et le massif du Pelvoux. Elles sont généralement entourées par les terrains anthracifères ou par les schistes du lias.

On y connaît de nombreux gisements métallifères;

Enfin nous retrouvons un cinquième massif de roches anciennes, cristallines et métallifères, sur les bords du Rhône, aux environs de Vienne, qui semble relier les terrains primitifs des Alpes avec ceux du mont Pilat et du Vivarais, situés sur la rive droite du fleuve.

SAVOIE.

Tableau des gisements que l'on y connaît aujourd'hui (1873)[1].

Départements de la Haute-Savoie et de la Savoie.

VALLÉE DE L'ARVE. — *Argentière.* — Rappelé à cause de son nom. Situé au pied du glacier de l'*Argentière.*

Vallorcine : plomb, argent, zinc. Quelques explorations au mont *Oreb.*

Servoz : plomb, argent, cuivre, or. Nombreux travaux de plusieurs époques à *Pormenaz*, aux *Houches*, à *Contamines*, à *Saint-Gervais*, etc.

Sept concessions. *Léchieux*, *la Bérangère*, *Tré-du-Chozal*, *Notre-Dame de la Gorge*, *Sangle*, *le Miage*, *Révenette Blanche.* Concédées en 1857, 400 hectares environ chacune.

VALLÉE DE L'ISÈRE. — *Feissons-sous-Briançon :* cuivre gris aux Fougères, cuivre pyriteux, galène et blende.

Bonneval : pyrite de cuivre, pyrite cuivreuse et galène (?).

Doucy : pyrite cuivreuse. Près du ruisseau de Bonneval. Anciens travaux vers 1772. Galène argentifère. Fonderie ancienne.

Celliers : galène argentifère tenant 1 once argent et 60 livres plomb pour 100 (Robilant). Concession du *Crozat*, 1864, 398 hectares.

Notre-Dame-de-Briançon : pyrite cuivreuse, galène argentifère. Commencement d'exploitation en 1765.

Naves : pyrite cuivreuse, cuivre gris argentifère. Travaux anciens. Bâtiments en ruine.

Saint-Marcel : cuivre pyriteux à l'Enfer.

Les Allues : galène argentifère. Exploitée au Sault. 3/8 once argent, 60 pour 100 plomb (Robilant). Concession de *la Croix de Verdon*, 1860, 400 hectares. Exploitation commencée en 1758, terminée en 1778 par suite de l'élévation des travaux et du désaccord entre les intéressés.

1. De Mortillet, *Géologie et minéralogie de la Savoie.*

Saint-Bon : galène argentifère sous la Croix-Verdon. Commencement d'exploitation.

Teneur : 4 1/8 onces argent et 55 pour 100 plomb (Robilant).

Champagny : pyrite cuivreuse.

Tignes : pyrite cuivreuse entre Tignes et Laval.

Sainte-Foy : alquifoux sous le Jorat.

Villa-Roger : cuivre pyriteux.

Mont Valeran-sur-Séez : galène à la Roche, près la Grangette. Recherches. Près du pont de Bonneville, on avait établi autrefois un boccard pour briser les éboulis de la montagne.

Teneur : 1 1/2 argent, 42 pour 100 plomb.

Cuivre gris argentifère et pyriteux avec pyrite de fer et mispikel.

Teneur : 2 onces argent et 7 cuivre pour 100 (Robilant).

Séez : galène au plan David. Recherché.

Bourg Saint-Maurice : cuivre pyriteux. A *Parai-Blanche*, rive gauche du torrent, entre le Chatelard et Bonneval. A l'entrée du vallon de Versoies. A *Paprement*, au-dessous de la Combe. Anciens travaux.

Cuivre gris argentifère, sous *Bonneval*, avec pyrite de cuivre, galène, fer spathique, pyrite de fer et fer oxydé.

Teneur : 0,25 cuivre et 0,005 argent (Lelivec). Travaux anciens.

Cuivre gris et galène, sous les *Chapines*. Travaux de recherche.

Galène avec cuivre gris argentifère, au *Gottet*.

Galène argentifère à la Côte-Pendante.

Galène argentifère au bas de la *Seigne*, à la montagne des *Lanchettes*.

Pesey : galène argentifère. Travaux anciens et récents, aujourd'hui abandonnés (1873). Fonderie ancienne. Concédé en 1856, 400 hectares.

Macot : galène et cuivre gris. Travaux anciens et récents abandonnés. Boccard et laverie au-dessous de la mine. Concédé en 1856, 400 hectares.

Moutiers, environs : filons de cuivre.

Granier : cuivre gris argentifère. Forêt de Mial, au-dessus de la Thuile. Anciens travaux. Galène.

Bonvillard : galène argentifère et blende, à la *Mollière*, à *Bagneu*, aux *Sellières*, dans le *Val du Châtelet*, etc. Filons nombreux découverts au commencement du dix-huitième siècle, exploités sans suite à plusieurs reprises. Le filon de la Mollière a de 0,70 à 2 mètres de puissance, à gangue de quartz, de baryte et de chaux ferrifère. Concédé en 1857, 182 hectares. Concession de *Longeray*.

Cuivre gris à la *Louatière*. Teneur : 3 onces 2/8 argent pour 100 livres, environ 200 grammes aux 100 kilos.

Le Perray. *Petitcœur :* plomb argentifère. Concédé en 1859, 400 hectares.

Saint-Ferréol : cuivre pyriteux au pied du *mont Aigu*. A été exploité.

Ugine : cuivre pyriteux aux *Lanchettes-Rousses*.

Haute-Luce : cuivre pyriteux au-dessus d'*Annuit*, vers le haut du ruisseau de l'*Alpettaz*. Paraît abondant et mêlé à la galène.

Galène argentifère à la montagne de la combe du *Nant*. Filon de 1 mètre. Sous la neige pendant sept à huit mois de l'année.

Teneur : 0,0045 argent et 75 pour 100 plomb.

Cobalt et nickel signalés par Saunier, dans trois couches imprégnées de minerai, vers le bas du lit de l'*Alpettaz*, etc.

Saint-Maxime de Beaufort : nombreux travaux anciens.

Cuivre gris argentifère et pyriteux. Montagne des *Rognats*. Anciens travaux. Nombreux gisements de pyrite de cuivre dans cette contrée.

Césarches : cuivre pyriteux et ocreux. Commencement d'exploitation abandonnée.

La Bâthie : pyrite arsénicale. Filon très-puissant derrière les ruines.

Esserts-Blay : galène aux Granges d'en bas.

Saint-Paul : antimoine.

Galène aux Granges d'*Aratte*. Exploitation abandonnée en 1747.

Cevins : galène dans quartz caverneux. Teneur de 0,0007 à 0,0043 d'argent (Lelivec).

La Table : cuivre pyriteux et cuivre gris très-riche en argent, avec galène dans des couches quartzeuses minces, à *Mal-Rocher*. Teneur : 29 et 30 onces argent pour 100 livres, environ 1,800 grammes aux 100 kilos (Robilant).

La galène a rendu 1 once à 1 once 1/2 d'argent, ou 60 à 70 grammes aux 100 kilos.

Verneil : galène au *Molard-des-Serpents* et au *Nant-de-Prévent*.

Presle : cuivre pyriteux associé au fer spathique. Concédé en 1836, 46 hectares.

Cuivre gris argentifère dans quatre ou cinq bancs quartzeux de 0,10 de puissance, donnant 0,0043 argent et indices d'or. A été travaillé à plusieurs époques, jusque dans ces derniers temps.

Aillon : cuivre pyriteux.

Maurienne. — *Bonneval :* cuivre pyriteux au *mont Lenta*. Anciens travaux assez importants au-dessus des sources de l'Arc.

Bessans : cuivre pyriteux au *Chapeau-Blanc*.

Galène dans le haut de la montagne.

Lans-le-Villard : galène argentifère, antimoniale, au *mont de la Flèche*.

Cuivre pyriteux, même montagne.

Lans-le-Bourg : cuivre pyriteux, galène et fer près le lac Blanc. Concédé en 1861, 205 hectares.

Thermignon : plomb, cuivre, argent. Concession du *Pelvoz*, 1866, 1,406 hectares.

Bramens : galène à *Saint-Pierre-d'Estravache*. Anciens travaux attribués aux Romains. Recherché en 1855.

Villa-Rodin et Bourget : antimoine sulfuré argentifère et soufre.

Modane : antimoine avec cuivre gris argentifère au-dessus de *Moudon* ou *Amodon*. Filon peu abondant. Ancienne galerie.

Cuivre pyriteux, montagne d'*Arionde*. Anciens travaux.

Galène à la mine des *Sarrazins*. Anciens travaux repris à plusieurs époques et dans le siècle actuel. Concédé en 1852, sur 400 hectares.

Fourneau : galène et blende à *Replane*. Anciens travaux.

Teneur de 2 à 6 onces argent et 30 à 50 livres plomb pour 100, soit environ 150 à 360 grammes aux 100 kilos.

Orelle : galène et cuivre pyriteux associés au fer de *Bissorte*.

La tradition rapporte qu'il y eut une mine d'or travaillée par les Romains.

Saint-Jean-de-Maurienne : galène et blende à la *Tannière-à-l'Ours*. Couche métallifère de 1m,40. Travaillé à plusieurs époques et dans le cours du siècle actuel. Considéré comme épuisé.

Albiez-le-Vieux : près du glacier, cuivre gris. Teneur : 72 pour 100 de schlick, 34 cuivre et 0,0033 argent pour 100 (Barelli).

Saint-Sorlin-d'Arves : cuivre pyriteux et galène au-dessus de Saint-Sorlin.

Galène à la Balme. Vieux travaux au pic. Remplis d'eau.

Hermillon : galène.

Cuivre pyriteux à *Combes et Conches*.

Montgelafrey : galène en montant à la *Madeleine*. Concédé en 1860, sur 187 hectares. Concession du *Gros-Villau*.

Sainte-Marie-de-Cuines : galène et blende au *Mont*. Exploité dans le dix-huitième siècle.

Saint-Léger : galène. Filon couche de 1 mètre; 0,001 argent (Lelivec).

Argentine : galène au *mont Chabert*. Travaux anciens. Concédé en 1855, 395 hectares.

Mont Sapey : cuivre gris argentifère au *Col-de-Bamont*. Recherches abandonnées.

Saint-Georges-d'Hurtières : pyrite de cuivre subordonnée aux gisements de fer spathique. Anciens travaux.

Bonvillaret : galène. Pyrite cuivreuse et fer.

Bourget-en-Huile : pyrite de cuivre et galène associées au fer spathique dans de nombreuses mines.

Les mines dont nous venons de donner les noms sont aujourd'hui (1873) dans un état d'abandon presque absolu, et il en est parmi elles qui, sans doute, ne méritent qu'une bien faible attention; mais il n'en est pas ainsi pour toutes, et, dans tous les cas, ces indices, assez nombreux sur quelques points, semblent montrer l'existence de faisceaux métallifères que la difficulté d'accès dans ces montagnes n'a pas permis de déterminer jusqu'à présent.

Quoi qu'il en soit, nous décrirons les principales mines suivantes :

MINES ROYALES DE SAVOIE.

Ces mines comprennent celles de *Pesey*, *Maçot*, *Saint-Jean-de-Maurienne* et des *Sarrazins*, qui, sous les derniers rois de Piémont, étaient exploitées par l'État et dépendaient d'une administration commune.

Comme toutes les mines de la Savoie, elles devinrent françaises en 1860, et elles rentrèrent sous l'empire de la loi de 1810 par décret du 13 octobre 1860.

Mine de Pesey. Historique. — Située sur la rive gauche de l'Isère, à 29 kilomètres de Moutiers, à 1,573 mètres au-dessus de la mer, cette mine fut découverte par un berger en 1714. Elle fut explorée de 1734 à 1742; abandonnée à ce moment par suite de la guerre, elle fut reprise en 1745 et travaillée jusqu'en 1760. Revendiquée alors par la chambre des comptes de Turin, elle passa dans les mains d'une société savoisienne qui, directement ou indirectement, l'exploita jusqu'en 1792.

Pendant cette période de 47 années, on en a extrait environ 37,000 kilogrammes d'argent et, avec le plomb et les litharges, une valeur d'environ 19 millions de francs[1].

En 1792, les travaux furent abandonnés, non-seulement par suite des troubles que les événements apportaient dans l'exploitation, mais particulièrement par suite de la communication de l'une des galeries avec des vides remplis d'eau dont on ignorait l'existence.

Ce malheureux événement, qui accusait la présence de travaux anciens inconnus, eut pour effet d'inonder les travaux profonds, de tuer un grand nombre d'ouvriers et d'obstruer les galeries d'écoulement.

Après l'émigration des propriétaires, la mine de Pesey fut déclarée nationale par arrêté de l'administration du Mont-Blanc du 19 brumaire an II (9 novembre 1795), et elle ne fut reprise qu'en suite de l'arrêté consulaire du 27 pluviôse an X (12 février 1802) qui créait en Savoie une École pratique des mines.

Le directeur de cette École, M. Schreiber, Saxon, que l'administration du comte de Provence avait appelé en France pour l'exploitation des mines d'argent des Chalanches, dans l'Isère, rétablit alors les ateliers et y introduisit toutes les améliorations que comportaient alors les progrès de la science et de l'art.

Il ouvrit, bientôt après, les mines de *Macot*, qui furent découvertes en 1807.

En 1814, l'exploitation de cette nouvelle mine était dans les meilleures conditions de stabilité.

1. Despine. Mémoire sur les mines de Pesey.

Les mines de Pesey et de Macot ont produit, de 1803 à 1814, une valeur de 2,200,000 francs.

De 1814 à 1850, les trois mines réunies de Pesey, de Macot et de Saint-Jean-de-Maurienne, rentrées sous l'administration des rois de Piémont, produisirent :

17,484 kilos d'argent,
7,359 tonnes de plomb,
388 tonnes de litharge.

D'après les comptes de M. l'inspecteur Dépine, on voit que le produit moyen de 100 kilos de minerais mélangés et divers a été :

De 1803 à 1814, de 151 grammes d'argent,
66 de plomb aux 100 kilos.
De 1844 à 1850, de 133 grammes d'argent,
58,88 de plomb.

Après 1850 et quelques années plus tard, les mines de *Pesey*, comme celles de *Macot*, furent exploitées par une société dite *Franco-Savoisienne*, formée en 1854, et qui travailla jusqu'en 1866. A cette époque, toutes ces mines furent abandonnées, comme elles le sont encore aujourd'hui en 1873.

Gisement de Pesey. — Il consiste en couches dans des schistes luisants ayant toute l'apparence de stéaschistes, mais que les géologues rapportent au terrain anthracifère métamorphisé.

Le minerai y est disséminé dans des veines généralement parallèles aux couches de la montagne, ayant une direction de l'Est à l'Ouest et une puissance variable de un à plusieurs mètres. Il consiste en galène associée à des pyrites et quelquefois de l'antimoine, dans une gangue de quartz et de baryte sulfatée, accompagnée de sulfate de chaux et de chaux carbonatée.

Les travaux exécutés pendant près d'un siècle s'y étaient développés sur une longueur de 820 mètres, 90 en hauteur et sur une épaisseur variable de 1 à 20 mètres.

On y pratiqua plusieurs galeries d'écoulement dont l'une, de 1,300 mètres, fut exécutée, de 1760 à 1780, à 90 mètres au-dessous de l'affleurement. Cette galerie a desservi longtemps l'exploitation, qui s'est développée en profondeur et au-dessous d'elle jusqu'à ce que les moyens d'épuisement fussent devenus insuffisants.

Les travaux opérés par la Société Franco-Savoisienne ont eu principalement pour but de tirer parti des rebuts et des scories anciennes, et à cette époque les ouvrages inondés n'ont pas été épuisés.

D'après M. Despine, la mine se poursuivrait dans les profondeurs avec les mêmes caractères qu'elle possédait dans le cours des travaux,

et il suffirait d'y appliquer des moyens d'épuisement plus énergiques, à l'aide d'une machine à vapeur, pour être en mesure d'extraire les grandes quantités de minerai existant au-dessous des anciens ouvrages.

L'anthracite se trouve à 3 kilomètres de la mine, et peut-être qu'il pourra désormais suppléer, dans une certaine mesure, dans le traitement même des minerais, à l'éloignement des combustibles employés jusqu'à ces derniers temps, éloignement qui dut être l'une des principales causes de l'abandon de ces mines.

Nous devons ajouter que le minerai extrait ne donnait, moyennement, que 4 à 5 pour 100 de schlick, 65 pour 100 de plomb tenant 1/500 d'argent.

Des recherches faites aux environs de la mine de Pesey, à *Saint-Victor*, aux *Charmettes*, au *Monteu*, ont mis à nu des veines de galène que l'on considérait comme une nouvelle source de richesse et d'avenir.

Les minerais ont été longtemps fondus sur place; mais, sous l'administration de M. Schreiber, on les transporta à la fonderie d'Albertville dont nous parlerons plus bas.

Mine de Macot. — Située dans la montagne de la Plagne, sur la rive gauche de l'Isère, à 24 kilomètres de Moutiers, cette mine est située à 2,020 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Elle fut travaillée très-activement, et peut-être au temps des Romains; mais les renseignements qui s'y rapportent ne montent pas au delà de 1462.

En 1766, des recherches furent dirigées sur des cuivres gris disséminés dans un filon de quartz de 1 mètre de puissance; mais tous les travaux faits à ces diverses époques restèrent oubliés jusqu'en 1807, quand on en fit de nouveau la découverte.

Les travaux dirigés par M. Schreiber se développèrent particulièrement sur des veines analogues à celles de Pesey, presque verticales et insérées comme elles entre les couches d'un schiste talqueux.

La puissance de ces veines est variable, mais elle a atteint quelquefois 30 mètres.

En 1851, les travaux occupaient une longueur de 520 mètres, sur 120 de hauteur et une épaisseur moyenne de 10 mètres, et les travaux inférieurs montrent que le minerai se poursuit indéfiniment dans la profondeur.

Ce minerai consiste en galène à grains fins dans une gangue de quartz et de chaux carbonatée. Il rendait moyennement 2,368 pour 100 de schlick bon à fondre, qui fournissait 65 pour 100 de plomb tenant 1/400^{k}, ou 250 grammes d'argent aux 100 kilos[1].

1. Despine.

La production, de 1814 à 1832[1], a été de :

3,401 kilog. argent,
1,471,018 — plomb,
66,417 — litharge.

M. Despine estimait à 80,925 mètres cubes la partie exploitée jusqu'en 1850, sans comprendre les galeries de service ou autres ouvertes dans la roche stérile.

En 1828, on y découvrit de longues galeries, faites avant l'invention de la poudre; elles recoupaient le gîte sans s'y arrêter. A la fin de la même année, on en avait déjà déblayé une longueur de plus de 600 mètres. Ces galeries, dont on ne comprit pas le but au moment de leur découverte, étaient sans doute destinées à aller atteindre d'autres gîtes dont on ignorait tout à fait l'existence. Leur rapprochement, avec la constatation faite en quelques points, de cuivre gris argentifère, donne lieu de croire qu'il existe dans ces montagnes des filons inconnus, peut-être plus importants que ceux que l'on y a exploités depuis soixante ans.

Cette opinion est d'autant plus vraisemblable qu'en 1861 on reconnut, à 400 mètres au nord-est du filon de Macot, un autre filon de 2 mètres, plus riche en plomb et renfermant encore du cuivre gris qui devait accroître la teneur en argent.

Il y a donc lieu de supposer que, pendant bien des années, les travaux ont été concentrés sur un seul gisement, mais qu'il y a encore bien des études à faire.

La mine de Macot fut abandonnée, comme celle de Pesey, en 1866, et les minerais étaient fondus à la fonderie d'Albertville.

Fonderie d'Albertville. — Les minerais des mines royales, et spécialement ceux des mines de Pesey et de Macot, furent fondus, pendant longtemps, dans des établissements rapprochés des mines; mais, après 1792 et sous l'Empire, le nouveau directeur, M. Schreiber, obtint de faire changer la destination de la saline de Conflans et de la transformer en une fonderie, construite de manière à pouvoir devenir une fonderie centrale pour toutes les mines plombifères de la contrée : ce fut la fonderie d'Albertville. Elle a fonctionné de 1813 à 1861. De 1861 à 1867, elle servit d'entrepôt pour les schlichs de Pesey et de Macot, qu'on expédiait alors à une fonderie nouvellement établie à Vizille par la Société Franco-Savoisienne, et plus tard à l'usine de Saint-Fons, sur les bords du Rhône. Depuis 1867, l'usine d'Albertville resta sans usage, et l'usine de Vizille, déjà éteinte en 1863, a été transformée en une fabrique textile.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler les prix de revient des minerais

1 Mortillet.

de Pesey et de Macot de 1841 à 1850, d'après M. Despine, pour 100 kilos de schlick rendus à l'usine.

Ces prix de revient étaient, pour Pesey :

Extraction de 1000 kil. minerais.............	13f	21
Extraction aux 100 kil. schlick...............	34	22
Lavage de 2591 kil. minerais................	14	15
Transport à Albertville.....................	2	50
Coût de 100 kil. de schlick.............	50	87

Pour les minerais de Macot :

Extraction de 1000 kil. mineral..............	6f	17
Extraction aux 100 kil. schlick..............	29	53
Lavage de 4915 kil. mineral.................	10	60
Descente à Albertville......................	2	33
Coût de 100 kil. schlick................	42	46
Frais de fonte aux 100 kil. schlick............	8	51
Frais généraux..........................	6	35
	14	86
Produit moyen par 100 kil. à la même époque..	63	81

D'après M. de Mortillet, en 1855, les frais ont été répartis de la manière suivante :

	Pesey.	Macot.
Extraction......................	24,00	20,00
Lavage.......................	6,80	7,70
Transport.....................	2,50	2,32
Fusion......................	9,67	9,67
	42,97	39,69

L'examen de ces chiffres fait voir que, sans tenir compte de l'existence probable d'autres filons, il serait possible de modifier sensiblement les conditions économiques de ces mines, et que probablement, et sans beaucoup d'efforts, on pourrait les sortir de l'état d'inaction dans lequel elles se trouvent. Rappelons, enfin, que les chemins de fer doivent atteindre prochainement le pays d'Albertville.

Mines de Saint-Jean-de-Maurienne. — Situées auprès de *Saint-Jean*, à peu de hauteur au-dessus du niveau de l'Arc et sur la rive gauche de ce torrent, ces mines, que j'ai eu occasion de visiter il y a quelques années, sont ouvertes dans des schistes talqueux et micacés. On en exploita une de 1829 à 1847. Le minerai ayant totalement disparu aux avancements, elle fut abandonnée.

Plusieurs veines métallifères ont été aussi explorées dans la vallée de

l'Arc ; mais, à part les recherches pratiquées à la mine des *Sarrazins*, ces explorations n'ont produit aucun résultat satisfaisant.

Mine des Sarrazins. — Elle est située sur la commune de Modane, où vient déboucher le tunnel du Mont-Cenis, à une très-grande élévation, et à 5 heures environ de la route d'Italie ou du chemin de fer. Non loin d'elle se trouvent des excavations anciennes, connues sous les noms de mines des *Herbiers*, de *Replane* et des *Côtes*.

Les mines de cette contrée paraissent avoir été travaillées fort anciennement, ainsi que leur nom l'indique, mais notamment depuis 1748. Vers la fin du dix-huitième siècle, une Compagnie lyonnaise en traitait les minerais à une usine construite au village de Fourneau.

L'agitation révolutionnaire et la création des assignats en firent suspendre les travaux, et en 1849 la direction des mines royales les fit exploiter. Il fut reconnu qu'elles pouvaient donner lieu à une exploitation avantageuse, et on y envoya des ouvriers que l'abandon de la mine de Saint-Jean-de-Maurienne rendait disponibles.

Cette mine fut concédée en 1853 et cédée plus tard à la Société Franco-Savoisienne, qui l'abandonna en 1861.

Les travaux de 1849 ont fait reconnaître que le minerai consistait en une galène à grains fins, disséminée dans une couche de schiste noir encaissée dans un schiste que l'on rapporte au terrain anthracifère.

Les travaux anciens y formaient trois régions dont la plus élevée avait été l'objet des travaux les plus étendus. Dans chacune de ces régions on avait poursuivi la veine métallifère sur une longueur de plus de 200 mètres, sur environ 60 mètres de hauteur.

Le minerai brut rendait plus de minerai bon à fondre que celui des mines de Pesey et de Macot.

Il donnait 15 à 20 pour 100 de schlick rendant 70 pour 100 de plomb et 2k,50 d'argent aux 1,000 kilos de plomb (Despine).

Pour cette mine, comme pour celles dont nous venons de parler, les transports des minerais ont donné lieu à de grandes difficultés, et il est probable que c'est là une des grandes causes des abandons que nous venons de constater. Ces circonstances paraissent modifiées aujourd'hui, pour la mine des Sarrazins comme pour celles qui se trouvent dans les environs, en raison de la proximité du chemin de fer et du voisinage d'abondantes mines d'anthracite que l'on exploite à Saint-Michel et aux environs.

Moutiers. — Des filons de cuivre m'ont été signalés aux environs de ce pays par l'un des auteurs de la Carte géologique de la Savoie, M. l'abbé Vallet, et ces filons paraissent dignes d'attention.

Vallée de l'Arve. — Les mines de la vallée de l'Arve, situées dans les

montagnes escarpées comprises entre Valorcine et la vallée de Montjoie, ont été travaillées à des époques diverses et dans les temps les plus reculés. Les documents écrits les plus anciens que l'on possède à leur égard remontent à 1461, quand Guillaume de la Ravoire, prieur de Chamonix, en fit concession.

En 1520, le chapitre de Sallanches, devenu seigneur de Chamonix, fit exécuter sur les mines de Servoz, et à plusieurs reprises, des recherches qui furent interrompues plusieurs fois par suite de l'absence de bénéfices. Toutes ces mines furent ensuite louées successivement à plusieurs Sociétés qui renoncèrent à l'exploitation faute de fonds suffisants.

En 1782, une Société française, qui comptait parmi ses membres des noms tels que ceux de la Tremouille et de Croy, etc., après des recherches sur de nombreux gisements et qui coûtèrent plus d'un million, réduisit ses travaux à ceux d'une seule mine, la mine de Sainte-Marie, en 1791, d'où elle tirait plomb, argent, cuivre et parfois antimoine.

Cette exploitation dura jusqu'en 1814, quand les événements politiques vinrent porter le dernier coup à une situation déjà languissante.

Bien des recherches ne furent pas sans succès, mais des frais généraux énormes pesaient sur l'entreprise et des dépenses exagérées absorbaient les bénéfices que l'on aurait pu faire[1].

Les minerais étaient traités à une usine construite au Bouchet, sur les bords de la Dioza.

Mines de Pormenaz. — Elles dominent la vallée de Servoz et sont situées à 2,000 mètres au-dessus du niveau de la mer, dans la chaîne du Brévent. On y a exploité deux filons de cuivre, plomb et argent, traversant un granite porphyroïde.

Le premier avait une gangue de quartz et baryte et produisait un minerai rendant 15 livres de cuivre, 10 de plomb et 1 once 1/2 argent au quintal (48 kilos). Sa direction était sur les neuf heures ou N. O.-S. E., et son inclinaison de 70° à l'O. On y avait pratiqué neuf galeries.

Le second, parallèle au précédent, fournissait peu de minerai de plomb argentifère, et particulièrement des pyrites cuivreuses, des pyrites aurifères, du cuivre antimonial, de l'argent vitreux et de la philipsite.

Les travaux qu'on y avait ouverts étaient connus sous le nom de mine de la *Sourde*.

Cette même montagne renferme encore plusieurs filons d'antimoine.

Ces mines, dit M. Lelivec[2], ont toujours été considérées comme riches, mais leur grande élévation et la cherté des transports ont nui à leur développement.

1. Mortillet.
2. An III. *Journal des Mines*.

Mines de Servoz. — Les mines les plus nombreuses se trouvent sur la rive gauche de l'Arve.

Vers 1855, des demandes en concession furent faites pour un certain nombre de mines déjà connues pour la plupart et plus ou moins travaillées anciennement.

Ces mines sont :

1° *Léchieux :* plomb et argent, commune des Contamines;

2° *La Berengère :* plomb et argent, commune de Saint-Gervais;

3° *Tré-du-Chozal :* plomb et argent, commune de Saint-Gervais;

4° *Notre-Dame-de-la-Gorge :* plomb et argent, commune de Saint-Gervais;

5° *Miage :* plomb, argent et fer, commune de Saint-Gervais;

6° *Rêvenette-Blanche :* cuivre, communes de Saint-Gervais et Contamines ;

7° *Châtelet :* plomb et argent, communes de Saint-Gervais et Contamines ;

8° *Gruvat* et le *Sangle :* plomb et argent, communes de Saint-Gervais et Contamines;

9° *Sainte-Marie-des-Fouilles* : plomb et argent, commune des Houches ;

10° *Mine du Lac* : plomb et argent, commune des Houches.

Des travaux assez importants ont été faits sur ces mines diverses dans ces dernières années; mais aujourd'hui (1873) on ne les poursuit qu'avec une très-faible activité.

En général, les gisements de ces contrées diffèrent de ceux de la chaîne du Brévent, en ce qu'ils consistent plutôt en filons-couches au milieu des schistes qu'en filons proprement dits; c'est même là un des caractères généraux des gisements de la chaîne du mont Blanc.

L'isolement et l'abord difficile de ces mines, au commencement du siècle comme à la fin du siècle dernier, ont contribué beaucoup à leur délaissement et même à leur complet abandon. Il n'existait aucun moyen de communication dans la contrée, même pour les bêtes de somme, et les transports de minerai se faisaient généralement à dos d'homme [1].

Mais, depuis l'annexion de la Savoie à la France, des routes départementales et de grande communication ont été construites dans ces contrées; l'une d'elles passe à peu de distance des travaux.

En outre, la rivière de l'Arve, qui les contourne à proximité, produit de grandes ressources pour l'établissement de forces motrices hydrauliques utilisables pour l'extraction et les ateliers de lavage. Les bois sont partout abondants, dans les environs, pour le service des ateliers de fusion.

1. Thomé de Gamond. Rapport sur les mines du Faucigny.

En sorte que ces mines, autrefois situées dans un désert d'un accès difficile, sont aujourd'hui relativement facilement abordables par des voies régulières de communication.

Les deux mines les plus importantes, parmi celles que nous avons désignées plus haut, sont celles de *Sainte-Marie* et de la *Berengère*.

Celles du *Lac* et de *Notre-Dame-de-la-Gorge*, situées dans leur voisinage, peuvent être exploitées et traitées simultanément.

Filon de la Berengère. — Il est connu sur une étendue d'environ 8 kilomètres.

Sa puissance est de 1m,50.

Le minerai, d'après M. Thomé de Gamond qui visita ces mines en 1872, consiste en galène tenant une quantité appréciable d'or. Sa teneur moyenne est de 29 pour 100 de plomb, 36 grammes d'argent et 2 1/2 grammes d'or aux 100 kilos.

Filon de Sainte-Marie. — Il est situé dans un monticule de la commune des Houches, nommé le Chatelard. Il fut découvert en 1786. Il consiste en plusieurs couches métallifères et quartzeuses, enclavées dans les schistes, dans la direction N.-S. et une inclinaison de 50 à 60° à l'E. La puissance de ce gisement varie de 1 mètre à 2m,50.

Plusieurs galeries y furent ouvertes à la fin du siècle dernier. En 1814, au moment où les travaux furent arrêtés, on travaillait à l'une de ces galeries, dite Sainte-Thérèse, où le filon avait une puissance de 2 mètres. Le minerai qu'on en extrayait rendait alors 34 pour 100 plomb et 65 grammes d'argent aux 100 kilos[1].

Le filon renferme généralement de la galène, de la blende, des pyrites de cuivre et de la bournonite.

Les analyses faites par M. Sanlaville sur des moyennes de minerai sans lavage ni triage ont fourni[2] :

Galerie Royale : plomb 24 pour 100, argent 260 grammes.

Galerie Espérance : plomb 40 pour 100, argent 77 grammes.

Galerie Sainte-Thérèse ; plomb 26 pour 100, argent 19 grammes.

L'essai pour plomb, argent et cuivre, sur une moyenne de tous les minerais de la mine, a fourni, aux 100 kilos :

Plomb 22,
Argent 33 grammes,
Cuivre 6,41.

Mine du lac. — Sa direction est N. 40 E. avec inclinaison à l'E.

La gangue du gisement est de sulfate de baryte et quartz. Puissance

1. De Mortillet.
2. Lettre inédite de M. Sanlaville.

0,60 de galène. Les essais ont fourni 69 pour 100 de plomb et 48 grammes argent.

Mine de l'Argentine. — Parmi les mines dont nous avons donné les noms, nous avons vu celles du mont Chabert, dans la vallée de l'Arc. Ces mines sont situées au-dessus d'Argentine où depuis longtemps se trouve un haut-fourneau alimenté par les minerais de fer de Saint-Georges d'Hurtières. De nombreux travaux y ont été faits dans les temps les plus reculés. Ils furent repris, vers la fin du siècle dernier, par une Compagnie anglaise qui les abandonna par suite des événements politiques.

Ces mines ont été attaquées de nouveau dans le siècle actuel, il y a quelques années; une fonderie fut construite à cette époque à Argentine; mais tous ces travaux furent bientôt abandonnés. D'après les mineurs du pays, les filons y étaient minces, 0,40 à 0,50, mais présentant des renflements nombreux. La richesse en galène était assez continue, et le dernier abandon devrait être attribué beaucoup plus à une mauvaise gestion qu'à la pauvreté du gîte.

La teneur des minerais en argent était de 50 à 90 grammes aux 100 kilos [1].

La facilité d'ouvrir dans le mont Chabert des galeries d'écoulement, les bois qui recouvrent abondamment tous les environs, le voisinage du chemin de fer qui passe au pied de la montagne, sont autant de causes qui permettent de croire qu'il y aurait avantage à étudier attentivement ces mines.

Mine de Saint-Paul. — Nous ne nous étendrons pas davantage sur les nombreuses mines de plomb et argent de la Savoie, et nous nous bornerons à rappeler les travaux ouverts aux *Granges d'Arattes*, commune de *Saint-Paul*, dans la vallée de l'Isère, vers le milieu du siècle dernier. Ces travaux furent interrompus par la mort du propriétaire qui y avait ouvert cinq galeries et construit un boccard, une fonderie et une laverie, sur les bords du torrent de la *Frachette*.

Mines de cuivre. — De nombreuses mines de cuivre, aujourd'hui abandonnées, ont été exploitées anciennement dans la Savoie. Pline mentionne d'une manière spéciale l'excellente qualité du cuivre que les Romains retiraient du pays des Centrons; et dans le cours du dix-huitième siècle, ces mines furent l'objet de nombreux travaux.

Les mines de la *vallée de Beaufort* [2] ont été travaillées avec beaucoup d'activité, si l'on en juge par les excavations nombreuses que l'on voit au *Planais*, dans la montagne des Rognats; on y extrayait du cuivre gris

1. Lelivec.
2. *Mémoire sur les richesses minérales de la vallée de Beaufort*, par Saunier (1856).

argentifère et du cuivre pyriteux. Leur exploitation donna naissance au village d'*Arèche*, et les boccards ainsi que la fonderie étaient au bord du torrent l'Argentine.

Ces mines ont été l'objet d'actes publics en 1418, 1433, 1470, 1659, et quand le duc de Savoie voulut inféoder le mandement de Beaufort, la chambre des comptes excepta leur aliénation, ce qui semble montrer l'importance qu'elles avaient alors.

Leur exploitation a cessé dans le dix-huitième siècle par suite de la guerre, et elle n'a jamais été reprise.

Les travaux principaux sont développés sur un puissant filon pyriteux.

Dans le même temps, on exploitait aussi les minerais de cuivre de *Doucy*, qui étaient fondus à Briançon, sur la rive gauche de l'Isère; ceux de *Mal-Rocher*, de la *Taillaz*, de *Presle* et de *Saint-Ferréol*, fondus au Bourget-en-l'Huile et au hameau de la Patenerie.

La vallée de Beaufort, l'une des vallées les plus richement boisées des Alpes françaises, paraît renfermer un assez grand nombre de filons dont l'importance grandit avec l'accroissement des voies de communication. Aujourd'hui Beaufort est relié à Albertville, tête de ligne de chemin de fer, par une magnifique route; et, indépendamment des bois qui s'y trouvent abondamment, on y rencontre encore l'anthracite que l'on exploite aujourd'hui avec une certaine activité.

Le cuivre se montre sur plusieurs points dans la Maurienne, et l'on a cité souvent la mine de *Saint-Georges d'Hurtières* comme mine de cette nature: mais telle qu'elle est aujourd'hui, cette mine doit plutôt être considérée, et presque exclusivement, comme une mine de fer spathique.

On y voit des exploitations séculaires sur un puissant filon dont l'affleurement paraît à 1,300 mètres au-dessus de l'arc, au sommet des escarpements rapides qui dominent la rive droite de la vallée, et en face du pays d'Argentine.

Le minerai de cuivre que l'on a trouvé dans le même gisement paraît n'y être que tout à fait secondaire. Il se présentait assez abondamment près de la surface, et il alimenta pendant les siècles passés une usine à *Randens* et à *Argentine;* l'abandon de ces fonderies et la persistance de l'exploitation du minerai de fer ont fait penser que le cuivre n'existait que près de la surface, à Saint-Georges, et qu'il disparaissait entièrement dans la profondeur. Cette appréciation ne paraît pas exacte, et nous en avons vu la preuve en reconnaissant la présence de la pyrite de cuivre à plus de 600 mètres au-dessous des affleurements.

On peut croire que jusqu'à présent on n'a distingué aucune loi dans la disposition relative des deux minerais de fer et de cuivre, et on sait seulement que ce dernier, quelquefois mélangé avec le premier, présente aussi des amas importants.

Aujourd'hui (1873), le minerai de cuivre que l'on extrait de ces mines est transporté à dos de mulet à la station d'Aiguebelle. Sa teneur moyenne est de 18 pour 100.

Nickel et *cobalt*. Ils ont été particulièrement signalés dans la vallée de Beaufort.

Dauphiné.

La plupart des mines du Dauphiné sont principalement situées dans la partie de cette contrée qui comprend aujourd'hui les départements de l'Isère et des Hautes-Alpes. Elles existent dans ce groupe de hautes montagnes profondément découpées qui constituent les chaînes de *Belledonne*, des *Grandes-Rousses*, et dans celles qui se rattachent au massif du *Pelvoux*. On les voit particulièrement dans l'*Oisans*, sur les pentes escarpées de la Romanche ou de l'Eau-d'Olle, dans le val Gaudemard et le val de Champoléon, ainsi que dans le massif schisteux qui longe les bords du Rhône, aux environs de Vienne.

Le Briançonais, qui fait partie du Dauphiné et dont les montagnes appartiennent à la chaîne des Alpes, renferme un très-petit nombre de gisements métallifères, et on n'en connaît véritablement qu'un qui présente une réelle importance : c'est celui de Largentière, situé presque aux sources de la Durance, dont nous parlerons plus loin.

PRINCIPAUX GISEMENTS ET MINES CONNUS DANS L'ISÈRE ET LES HAUTES-ALPES.

Département de l'Isère.

Lagardette (Villard-Eymond) : or. Concédé en 1831. 49 hectares. Recherché dans le dix-huitième siècle et vers 1840.

Villard-Eymond : plomb, cuivre. Plusieurs filons.

Pontet : plomb. Près Lagardette. Travaux anciens.

Oriz (bourg d'Oisans) : pyrites auro-argentifères. Quelques essais.

Les Chalanches (Allemont) : argent, cobalt, nickel. Concédé en 1808. 600 hectares. Travaux du dix-huitième siècle, presque nuls dans le dix-neuvième.

La Fare. — Le Clot : plomb.

Theys (vallée de l'Isère) : plomb. Anciens travaux. Exploité par les chartreux aux mas des *Ramiettes* et de la *Genevaise*. Produits faibles en 1789. Cause d'abandon inconnue (Gueymard).

Pyrite de cuivre aurifère. Dans la combe de *Merle-de-Theys*.

Cuivre. Anciens travaux aux mas des *Lérines*, des *Ramiettes*, de *Pipet* et de *Rocher-Cabot*. Fonderie au *Rocher-Cabot* et au *Villard-le-Château*.

En 1725, une autre fonderie fut construite par Blumenstein au mas de *Ceyssard*, au-dessous de *Pipet*. Causes d'abandon inconnues (Gueymard).

Allevard : cuivre et cuivre gris. Filons exigus. Minerais subordonnés aux filons de fer spathique.

Le Molard (Allemont) : plomb, argent, or. Recherché dans le dix-huitième siècle. Plomb 64, argent 122 à 286 grammes, or 2,25 grammes (Gueymard).

Articole : cuivre.

Lagarde (torrent de la Sarenne) : plomb et cuivre. Travaux anciens pleins d'eau. Quelques-uns paraissent très-développés.

Brandes (Huez) : plomb, argent. Travaux du moyen âge développés sur plusieurs filons.

Lac Blanc (Huez) : plomb, argent.

Lherpie : plomb, argent, plomb carbonaté, cuivre gris. Travaux anciens étendus.

La Demoiselle (Vaujany) : cuivre, or. Travaux anciens.

La Cochette (Vaujany) : cuivre gris. Travaux anciens. Repris infructueusement à plusieurs époques.

Oulles : galène et cuivre. Concédé en 1848. 1,190 hectares. Travaux récents.

Pontraut : galène, argent et or. Dans les hautes régions au-dessus d'Oz et de Vaujany. Plomb 58, argent 244,57 grammes, or 2,28 grammes aux 100 kilos (Gueymard).

Chaîne de Belledonne (Articol) : filons cuivreux près des sommets de Belledonne.

Montagne de *Taillefer :* nombreux filons plombeux considérés comme pauvres par M. Lory[1]. Accès difficile.

Montagne de *Taillefer*, filon de *Broussier :* plomb, argent. Recherché et travaillé infructueusement.

Montagne de *Vaulnaveys* (mont Jean) : plomb, argent. Travaillé en 1806.

Montagne du *Conex :* manganèse. Recherches.

Montagne de *Lamotte-les-Bains :* or. Recherché vers 1850. Travaux peu étendus.

Saint-Arey (Lamure) : mercure, cuivre, plomb carbonaté, calamine. Plusieurs gîtes recherchés et peu travaillés.

Prunières : cuivre. Quelques travaux anciens sur des filons spathiques.

Laffrey : blende. Concédé en 1849. 290 hectares. Plusieurs gîtes travaillés récemment.

Sapey : blende. Concédé en 1849. 492 hectares. Quelques travaux récents.

Ruines de Séchilienne : blende. Concédé en 1853. 800 hectares. Travaux à plusieurs époques.

1. *Description géologique du Dauphiné.*

Pierre-Rousse : blende. Concédé en 1847. 198 hectares.

Environs de *Vienne :* galène et blende. Concession de la Poipe, 1848. 630 hectares. Nombreux filons travaillés dans le siècle dernier et récemment.

Département des Hautes-Alpes.

Largentière : plomb, argent. Travaux anciens très-nombreux. Repris plusieurs fois. Concédé en 1838 sur 123 hectares, avec addition postérieure de 23 hectares.

Chardonnet : cuivre, argent. Filons remarquables à une grande hauteur. Explorés de 1835 à 1839. Concédé en 1838 sur 226 hectares. Accès difficile.

Lautaret : cuivre, argent. Concédé en 1836 sur 1,670 hectares. Accès difficile.

Montagne de l'*Homme* (Lagrave) : cuivre, argent. Concédé en 1838 sur 1,100 hectares. Plusieurs filons. Accès difficile.

L'Alp (Lagrave) : cuivre, argent. Concédé en 1836 sur 222 hectares. Plusieurs filons. Accès difficile.

Grand-Clos (Lagrave) : plomb, argent. Concédé en 1836. Plusieurs filons. Travaillés dans le siècle actuel.

Chazelay (Lagrave) : plomb, argent. Recherché récemment et abandonné.

Mine des *Acles* : cuivre.

La Piarre : plomb. Canton de Serres, arrondissement de Gap.

Val Gaudemar, *La Chauvetane* (Saint-Maurice) : plomb, cuivre, argent. Concédé en 1824 sur 1,582 hectares. Plusieurs filons.

Au-dessus du *Rif-du-Sap* : plomb, cuivre, argent. Nombreux filons puissants. Accès très-difficile.

Navettes : plomb, cuivre, argent. Concession 1866 sur 1,050 hectares. Nombreux filons. Accès difficile.

Filon du *Pendillon* : cuivre. Filon couche. 2 à 3 mètres de minerai de boccard (Lory).

Filon de l'*Echaillon* : cuivre.

Chapeau (vallée de Champoléon) : cuivre et argent. Concédé en 1848 sur 599 hectares. Recherches.

La Chapelle : plomb, cuivre et argent. Nombreux filons recherchés récemment.

Breziers : plomb. Travaux de 1740.

Arzeliers : plomb.

L'examen de ce tableau nous montre, à côté de plusieurs concessions accordées par l'Administration des mines, un assez grand nombre de mines dont l'existence n'est pas douteuse, qui ont été travaillées à des

époques diverses, dont quelques-unes ont même eu des périodes de grande activité et qui, presque toutes, étaient dans l'abandon en 1873.

Dans la première moitié du siècle actuel, vers 1835, une Compagnie s'était constituée pour exploiter les mines de cette partie des Alpes. Elle était connue sous le nom de *Société des mines d'Allemont et des Hautes-Alpes;* mais, pouvant explorer une immense étendue de terrain, elle donna, dès le début, une trop grande extension à l'entreprise, et elle ouvrit des travaux, tout à la fois, à l'Argentière, à l'Alp, au Lauzet, à Oulles, et dans les concessions des Chalanches, du Chardonnet et du Grand-Clos. Ne redoutant pas le voisinage des glaciers, elle établit à grands frais une laverie près des filons de l'Alp, et dans le même temps elle relevait l'usine d'Allemont et construisait une fonderie au Lauzet.

Tant de courage devait sans doute être récompensé par d'heureux résultats, car, dans toute cette contrée, il existe certainement des filons métallifères d'une grande valeur; mais cette multiplicité des travaux, poursuivis sans doute dans le but de diminuer les frais généraux, si lourds dans ce genre d'entreprise, devait précisément causer la ruine de la Compagnie. Les dépenses qu'elle exigeait n'étaient pas en rapport avec le capital disponible, et, lorsque toutes les constructions étaient terminées et prêtes à marcher régulièrement, le fonds de roulement vint à manquer et la Société succomba.

Après beaucoup d'efforts et de sacrifices, tous les travaux furent abandonnés en 1839.

Ces résultats malheureux sont un exemple frappant du danger que présentait l'application d'un principe généralement admis en France par beaucoup d'ingénieurs, savoir, qu'il fallait multiplier les points d'attaque sur plusieurs filons pour accroître la multiplicité des chances de succès.

De nombreuses tentatives infructueuses ont encore été faites sur les gisements de cette partie des Alpes. Il serait sans doute superflu de les décrire toutes; mais, en parlant des mines et des concessions les plus importantes, nous en dirons assez pour montrer que si, dans beaucoup de cas, l'abandon était justifié, soit par la pauvreté des gîtes, soit par la difficulté de leur accès, il en est d'autres qui pourtant méritent une sérieuse attention.

Nous parlerons d'abord de l'Oysans, de ce groupe de montagnes si remarquable et si pittoresque, décrit depuis longtemps par MM. Élie de Beaumont, Dausse, etc.

Mine de Lagardette : or. Elle est située à 6 kilomètres au sud du bourg d'Oysans, sur la commune de Villard-Eymond.

Historique. — En 1763, des recherches furent faites pour l'or, au nom du roi, dans le filon de Lagardette, récemment découvert par des paysans.

En 1776, cette mine fut comprise dans la concession faite au comte de Provence.

En 1781, les travaux prirent une certaine importance, quand M. Schreiber, alors directeur des mines d'Allemont, en prit la direction.

La découverte de cette mine produisit en France, à cette époque, une très-grande sensation, et le comte de Provence fit frapper, avec l'or de Lagardette, une médaille représentant, d'un côté, Louis XVI, et, de l'autre, le comte de Provence offrant au roi ce premier produit d'une mine d'or française [1].

Les travaux de cette époque, consistant en puits et galeries, furent poursuivis jusque vers 1788 et abandonnés à ce moment.

Pendant ces sept années, la dépense fut de	30,282 livres.
Et le produit.	7,662

La perte fut donc de 22,620 livres.

« Tous les travaux d'exploitation, dit M. Gueymard, dirigés par la main habile de M. Schreiber, n'ont pas eu le moindre succès, et l'abandon de cette mine n'a pas été fait légèrement. »

1837. Les travaux, abandonnés en 1788, furent repris seulement en 1837 et suspendus peu de temps après.

Le produit, en quatre années, fut de.	8,000 francs.
Avec une dépense de	54,926

Depuis cette époque, ils sont restés indéfiniment suspendus.

Les résultats indiqués ci-dessus semblent évidemment justifier ces abandons; cependant on n'est pas parfaitement d'accord à cet égard, et, d'après M. Lory, « l'exploitation de la mine de Lagardette n'a pas donné de résultats utiles par la faute d'une administration défectueuse et de frais d'installation considérables [2]. »

Gisement de Lagardette. — Il consiste en un filon de quartz, encaissé dans le gneiss, d'environ 1 mètre de puissance, dirigé de l'est à l'ouest, incliné de 65 à 70°, sans variation sensible sur une longueur de 500 mètres, et traversant une montagne de 1,290 mètres au-dessus de la mer, de 550 au-dessus du bourg d'Oisans, et dont le sommet est recouvert d'un manteau calcaire appartenant au lias.

Ce filon, remarquable par la régularité de ses allures et par des renflements qui en augmentent la puissance, a été reconnu sur une longueur de 500 mètres, et on peut encore aujourd'hui pénétrer dans les travaux dont il a été l'objet. Il est muni de salbandes argileuses et son mur est strié et poli.

1. Roussillon. — *Guide du voyageur dans l'Oysans.*
2. *Géologie de l'Isère*, p. 162.

Minerai. — L'or y est disséminé en dendrites, lamelles, grains, affectant de se trouver dans un quartz enfumé d'un bleu noirâtre, miroitant, d'un faciès particulier qui n'est pas méconnaissable.

On le rencontre encore, visible ou invisible à l'œil, dans un quartz rubanné, dans un quartz hyalin, jaunâtre ou brun, et quelquefois dans des druses fort larges et généralement situées dans les parties du filon les plus resserrées.

L'or adhère au quartz, ou bien il est infiltré entre les lamelles de clivage de la galène qui se trouve quelquefois avec lui. Il est accompagné de cuivre pyriteux, de tellure, de calcaire, de barytine ou de brèches enveloppées de fer spathique.

En 1840, à l'occasion de l'une de ses réunions extraordinaires annuelles, la Société géologique de France alla visiter le filon de Lagardette, accompagnée de M. Gueymard, ingénieur en chef des mines, auteur de la *Statistique minérale de l'Isère*, et dont l'opinion était peu favorable à ce gisement [1].

Il y fut reconnu que la direction des travaux avait été soumise à une idée purement théorique, savoir : que les parties métalliques du filon y ont été apportées par sublimation. On était, en outre, sous l'influence de l'opinion que l'or n'existait que près de la surface, et les principaux travaux, dirigés dans ce sens, tendaient à se rapprocher des parties les plus élevées, c'est-à-dire du contact du filon avec les calcaires qui le recouvrent, où l'on espérait trouver l'or en plus grande quantité et conservé comme dans un tube fermé.

En un mot, comme le dit à cette époque M. Fournet [2], on cherchait le chapeau d'or.

Les recherches ainsi faites ont été sans succès; les membres de la Société présents désapprouvèrent une pareille marche, et, en 1841, M. l'inspecteur général des mines Bonnard put exprimer le regret qu'une galerie d'écoulement, dite la galerie Mey, ouverte au-dessous des travaux existants, n'ait pas été achevée et poussée jusqu'au filon.

Enfin, on fut généralement d'avis, d'après l'assemblage des métaux qui accompagnent l'or, qu'il devait se trouver en plus grande abondance dans les parties inférieures.

Nous n'oserions pas affirmer qu'il en sera ainsi : mais, si, d'un côté, nous voyons au-dessus du bourg d'Oisans, entre ce pays et Lagardette, les travaux anciens du Pontet signalés par M. Gueymard, sur un filon de plomb, à l'ouest du filon de Lagardette, les affleurements de filons cuivreux dans le vallon dit la combe de la Pisse, à l'est du même filon, et un filon de spilite dans leur voisinage; si, enfin, nous rapprochons de ces faits les caractères si remarquables du gisement de Lagardette, il

1. *Bulletin de la Société géologique*, 1840, t. II, p. 120.
2. *Géologie Lyonnaise*, p. 248.

nous sera permis de croire, jusqu'à preuve du contraire et jusqu'à ce que des études plus complètes en aient été faites, que cette partie des pentes de la vallée de la Romanche possède un faisceau de filons métallifères dont il importerait de connaître les nœuds et les croisements, et susceptible d'être exploité par galeries d'écoulement à de grandes profondeurs au-dessus de la vallée.

Si, de plus, nous voyons qu'à son extrémité travaillée, le filon de Lagardette s'était divisé en deux branches, l'une dans le gneiss, l'autre dans le calcaire, et qu'on y avait trouvé une galène à larges facettes où l'or, à l'état natif mais invisible, fut signalé par M. Gueymard; qu'enfin, les parties étranglées du filon étaient les plus riches, nous pourrions admettre encore, avec raison, que les études faites jusqu'à ce jour n'ont pas été suffisantes pour exprimer une opinion arrêtée relative à l'abandon de la mine de Lagardette.

Si, enfin, nous rappelons les nombreuses exploitations de quartz aurifère ouvertes dans une multitude de points sur la surface du globe; si nous y voyons l'or atteindre des profondeurs considérables et n'être pas disséminé d'une manière uniforme dans l'intérieur des filons, mais y affecter des positions spéciales qui rendent les parties d'un même filon plus riches les unes que les autres; et qu'enfin on exploite avec avantage des quartz aurifères qui renferment moins de 20 grammes d'or par tonne, c'est-à-dire seulement quelques centimètres par mètre cube, dans des conditions de prix de main-d'œuvre et de machines fort élevé, et beaucoup moins encore dans les mines du Tyrol, nous pouvons croire qu'il y a bien des choses à examiner encore dans la mine de Lagardette et les gisements qui l'entourent.

Mine de plomb du Pontet.— Entre le bourg d'Oysans et Lagardette. Filon exploité anciennement, traditions perdues. Les travaux furent visités pour la dernière fois en 1788 par M. Schreiber.

La direction de ce filon recoupe celle du filon de Lagardette[1].

Combe de la Pisse. — Commune de Villard-Eymond.

Indices de plusieurs filons cuivreux et ocreux, marchant à peu près comme le filon de Lagardette dont ils sont peu éloignés.

Dans ce ravin, qui vient tomber dans la vallée de la Romanche, on ne retrouve pas le prolongement du filon de Lagardette d'une manière certaine à cause de la végétation et des roches qui, dans l'intervalle, recouvrent la montagne; mais les fragments cuivreux qu'on y rencontre pourraient en provenir.

Oriz. — Nous rappelons cet endroit de l'Oysans à cause de l'analyse

1. Gueymard.

du minerai qui en a été donnée par M. Gueymard, mais sous toutes réserves. On y aurait trouvé un minerai qui n'était qu'un mélange de sulfures d'antimoine, de plomb, de cuivre, de zinc, auro-argentifères.

Il aurait rendu 50 pour 100 d'antimoine et une forte proportion d'argent et d'or.

Le lieu d'où ont été extraits ces minerais, autant que nous pouvons le croire d'après les recherches que nous en avons faites, se trouve au-dessous d'Oriz, dans le fond de la vallée de la Romanche et sur la droite du torrent.

De nombreux indices de divers minerais se montrent le long de la falaise d'Oriz. On y a fait quelques essais, et on y rencontre, comme sur la route de Briançon, des schistes pyriteux assez abondamment imprégnés; mais tous ces indices, dans leur ensemble, ne présentent pas un aspect industriel bien favorable.

Mine des Chalanches : argent, nikel et cobalt[1]. Cette mine est située dans la montagne des Chalanches, commune d'Allemont, sur les versants escarpés de la chaîne de Belledonne qui se dressent en face de la vallée du bourg d'Oysans, et dont le pied est baigné par les eaux de la Romanche et de l'Olle.

Elle est ouverte à 1,300 mètres au-dessus de la mer, et les sommets et les pics rocheux qui la dominent s'élèvent encore à plus de 600 mètres au-dessus d'elle.

Historique. — Découverte en 1767 par une bergère, les habitants d'Allemont se portèrent dans la montagne pour y extraire l'argent. Un accident étant survenu dans ces travaux, exécutés sans surveillance technique, l'attention de l'autorité fut éveillée. Un membre de l'Académie des Sciences, M. Lemonnier, y fut envoyé par ordre du roi[2], et des recherches furent entreprises par l'intendant de la province, en 1769, sous la direction d'un ingénieur piémontais.

1776. La concession fut donnée pour cinquante ans à M. le comte de Provence qui chargea un habile mineur saxon, M. Schreiber, de diriger les travaux et de construire l'usine d'Allemont que nous voyons aujourd'hui, à peu de distance du bourg d'Oysans, sur les bords de l'eau d'Olle.

1. Anciens minéralogistes. — *Géologie de l'Isère*, par M. Lory. — *Statistique de l'Isère*, par M. Gueymard. — *Notice sur la mine des Chalanches*, par M. Graff, 1868. — Mémoire inédit de M. Gruner.

2. Il n'est pas inutile de rappeler que les frais de voyage de M. Lemonnier, à cette époque, s'élevèrent à la somme de 2015 livres, représentant, avec le pouvoir de l'argent, au moins 12,000 francs de nos jours (Anciens minéralogistes); ils ne dépasseraient pas 300 francs aujourd'hui.

1792. Devenue nationale par suite de l'émigration de Monsieur, la mine des Chalanches passa dans les mains de l'État.

De 1776 à 1792, l'entreprise fut généralement prospère, mais depuis l'émigration (1791), l'exploitation était tombée dans un état de gêne qui occasionna une restriction des travaux, par suite de l'enlèvement des matières d'argent fondues et de la réduction en lingots de tous les minerais disponibles sans qu'on envoyât en retour, selon l'usage, les fonds nécessaires aux dépenses courantes. Cette situation ne fit qu'empirer sous la nouvelle administration. On payait les fournisseurs en assignats; la production alla constamment en diminuant, jusqu'à ce que, lassé d'exploiter à perte, l'État abandonna les travaux en 1808, et concéda la mine des Chalanches sur une étendue de 11,300 hectares, réduits aujourd'hui à 550.

Depuis le commencement de son exploitation jusqu'en germinal an IX (1801), c'est-à-dire en trente-deux ans, cette mine avait produit 38,624 marcs 4 onces 3 gros d'argent ou 9,453 kilogrammes 470 grammes, soit 295 kilogrammes 421 grammes moyennement par année.

« La recette totale, dans cet intervalle de temps, dit M. Schreiber, a « été de 2,098,421 francs, soit par an de 65,577 francs; les dépenses de « ces trente-deux ans se sont élevées à 1,890,096 francs, qui font, année « commune, 59,090 francs. Ainsi, quoiqu'il y ait eu dans cet espace de « temps différentes époques où les filons ont été très-pauvres, et que la « construction des usines et des bâtiments nécessaires à l'exploitation « aient, au commencement, coûté des sommes considérables, cette mine « est encore aujourd'hui en bénéfice de 207,585 francs, outre qu'il y a « encore en magasin pour 4 à 6,000 francs de minerais bons à fondre. »

La mine des Chalanches, après 1772, donna pendant l'espace de treize ans un bénéfice moyen de 24,000 francs avec un fonds de roulement de 64,000 francs[1]; mais ce fut surtout en 1784 et 1785 que les filons furent plus productifs, ils rendirent 55,000 francs de bénéfice en 1784 et 54,000 en 1785.

En 1808, M. Schreiber, devenu directeur de l'École des mines de Pesey, abandonna les Chalanches, et ces mines, quoique passant dans un grand nombre de mains depuis cette époque jusqu'à 1873, ont en quelque sorte cessé d'être travaillées et n'ont offert qu'une succession de constants abandons. On peut répéter, pour cette longue période, les paroles de M. Gueymard : « Explorée, exploitée, abandonnée et reprise par « de nouvelles compagnies, cette mine a donné des bénéfices ou des « pertes, suivant les hommes qui étaient appelés à diriger les travaux, « et suivant les capitaux qui étaient à leur disposition. Somme toute, il « n'y a jamais eu que les travaux de M. Schreiber, car tous les autres se

1. De Bonnard. *Éloge* de M. Schreiber, *Ann. des Mines*.

« réduisent à quelques mètres d'avancement ou à l'entretien des an-
« ciennes galeries. »

C'est ce qui, du reste, résultera de l'énumération rapide que nous allons faire.

1808 à 1813. On glane dans les travaux de M. Schreiber, et on commence en 1811 une galerie dite de l'*Espérance*, qui resta inachevée.

1813 à 1835. Abandon des mines. Pendant cette période, les ingénieurs de l'État proposaient leur rachat par le domaine de la couronne. Il ne fut pris à cet égard aucune décision.

1835. Reprise des mines par la *Société des mines d'Allemont et des Hautes-Alpes*. On n'y occupa que quelques ouvriers pour extraire des minerais de nickel et de cobalt arsenical. « L'extension irréfléchie et disproportionnée à ses moyens, » dit M. l'ingénieur Graff, occasionna la ruine de cette Société en 1839, ainsi que nous l'avons vu plus haut.

1843. L'usine d'Allemont, les mines des Chalanches et du Grand-Clos passent dans les mains d'une maison de Lyon. On néglige la recherche et l'extraction des minerais d'argent; on ne pense qu'à la fabrication du bleu de cobalt, et après une dépense d'environ 100,000 francs en essais infructueux dans cet ordre d'idées, on abandonne en 1845.

Depuis cette époque, on voit encore se succéder plusieurs sociétés, qui firent encore moins que les précédentes.

1860-1873. La dernière fit quelques travaux après 1860, mais tout fut insignifiant, et, en 1867, les mines furent abandonnées à la suite de la mort du principal intéressé; elles sont restées dans cet état jusqu'à ce jour.

On voit donc enfin par ces quelques lignes que les mines des Chalanches n'ont jamais été reprises d'une manière sérieuse dans le cours de ce siècle, et, ainsi que le dit, avec raison, M. Gruner, l'insuccès des tentatives qui ont été faites pendant ce laps de temps ne prouve en aucune manière la stérilité du gisement ni l'impossibilité de pouvoir jamais l'attaquer avec avantage.

Gisement des Chalanches. — La montagne dans laquelle se montre le gisement des Chalanches est particulièrement formée de gneiss felspathique, souvent amphibolique, talqueux et micacé, au milieu duquel on remarque plusieurs couches calcaires à structure subsaccharoïde qui en font partie intégrante.

Les couches de gneiss présentent des groupes de diverses couleurs, dont les uns sont gris, d'autres verdâtres, et enfin d'autres bruns rougeâtres; ces derniers sont dus à une coloration provenant de la décomposition de la pyrite de fer et de la pyrite arsenicale dont la roche est imprégnée d'une manière intime; ces groupes forment ainsi des bandes qui s'étendent sur une grande partie de la hauteur de la montagne, mais

qui sont surtout largement développées vers la partie où se trouvent les travaux.

D'après M. l'ingénieur Graff, ces bandes pyriteuses méritent d'être signalées parce qu'elles seraient en rapport intime avec les filons argentifères des Chalanches, et il n'hésite pas à leur attribuer une influence, sur ces filons, analogue à celle que les *falhbandes* exercent sur les filons de Kongsberg, en Norwége.

L'exploitation a été développée en deux points indépendants, situés à peu près au même niveau, dans des roches de même nature, séparés par une dépression du sol de 300 mètres de largeur, et indiqués sous les noms des *Chalanches* et du *Cromot*.

La mine des Chalanches proprement dite est celle des deux sur laquelle les travaux ont reçu le plus grand développement. Elle est comprise dans un espace de 400 mètres de largeur et de 500 mètres de longueur, et, par conséquent, les travaux pratiqués jusqu'à ce jour y occupent une superficie d'environ 20 hectares.

Elle est ouverte sur un grand nombre de filons et de fissures qui se croisent sans aucune règle fixe apparente, ce qui faisait dire à M. Schreiber « qu'il y a autant de différences dans les directions de ces filons qu'il y a de divisions sur la boussole. »

Que l'on se figure, dit M. Gruner, une montagne étoilée et fissurée dans toutes les directions, que l'on suppose les plus grandes fentes remplies des débris des roches encaissantes et les plus petites de roches métallifères très-variées, et on aura une idée assez exacte de la mine des Chalanches.

Cette disposition était considérée par M. Gueymard comme celle d'un véritable stockwerck. M. l'ingénieur Graff y distinguait deux principaux groupes de filons :

1° Les filons N.-S. plongeant vers l'est et l'ouest, à peu près parallèles aux couches des schistes encaissants; 2° les filons E.-O. inclinant presque toujours au nord.

Ces deux systèmes de filons, qui sont les plus importants, se coupent et se dirigent de manière à faire croire qu'ils n'appartiennent pas à la même époque de formation; mais leur composition étant identique, on doit reconnaître que leur remplissage a dû s'effectuer dans la même période.

Les filons nord-sud sont les plus réguliers et se poursuivent le mieux en allongement et en profondeur. Tel est, par exemple, le filon, autrefois si riche, sur lequel ont été ouvertes les galeries dites du Prince héréditaire, de Sainte-Marie, de Siméon, de Frédéric, etc.

De ces deux systèmes de filons partent, dans tous les sens, des ramifications ou filons-branches qui donnent lieu à l'apparente confusion que nous avons signalée.

Outre les filons métallifères, on remarque encore au milieu du gise-

ment trois couches de diabase de 28,3 et 30 mètres de puissance. Enfin, la montagne des Chalanches est traversée par des fentes nombreuses remplies de blocs à arêtes vives et d'argiles sableuses et micacées, considérées par M. Schreiber comme des filons sauvages privés de substances métalliques. Les veines et les filons ont été considérés comme plus nombreux près de la surface qu'à l'intérieur, et ils paraissent d'autant plus réguliers qu'ils s'enfoncent davantage dans la montagne.

Cette disposition, que l'on rencontre assez généralement dans des gîtes d'une forme aussi irrégulière, semble indiquer, en profondeur, l'existence d'un petit nombre seulement de filons principaux plus réguliers que ceux que l'on connaît aujourd'hui, mais il serait prématuré de déterminer quoique ce fût à cet égard. Il y a lieu de le croire, et c'est tout ce qu'on puisse oser dire.

Puissance des filons. — Elle varie de 0,02 à 0,80, et est moyennement de 0,02 à 0,30.

Remplissage. — « L'ocre martiale, écrivait M. Schreiber, constitue la majeure partie des filons d'Allemont, qui ont depuis 1 jusqu'à 12 pouces d'épaisseur. Ce sont cette ocre et les pyrites martiales répandues dans le rocher où ces filons existent qui me font penser que ces différents gîtes de minerais n'étaient autrefois que des filons de pyrite martiale dont la décomposition a produit cette ocre. »

On peut constater encore aujourd'hui que la gangue des filons N.-S. est le plus souvent argilo-ocreuse. C'est une masse plus ou moins terreuse, colorée par du fer et du manganèse et imprégnée de pyrites en partie décomposées, formant dans les filons une série de lentilles aplaties généralement peu étendues.

Minerais. — Toutes ces terres ocreuses sont plus ou moins argentifères. L'argent y est généralement à l'état natif, soit à l'état de filaments, soit en poudre noire. On y a trouvé l'argent rouge. L'argent sulfuré, l'argent chloruré et l'argent antimonial y paraissent fort rares, mais le cuivre gris, riche en argent, y est plus abondant. Pendant l'exploitation, on ne recherchait que les minerais d'une teneur d'au moins 187 grammes aux 100 kilos. Pendant les années 1778, 1779 et 1780, cette teneur fut moyennement de 792, 817 et 541 grammes.

On y a reconnu aussi des cuivres pyriteux aurifères.

La mine des Chalanches a fourni toutes les espèces minéralogiques du cobalt et du nickel, et surtout le cobalt oxydé noir. Dans une des galeries, dites de cobalt, qui suit un filon quartzeux d'une puissance de 0,10 à 0,80, c'est le fer arsenical qui domine.

Presque tous les minerais de cobalt et de nickel ont été très-riches en argent. On trouve encore dans les mêmes filons, mais rarement, des minerais d'antimoine, de mercure, d'arsenic, de plomb et de zinc.

Les travaux exécutés jusqu'à ce jour, développés sur une étendue superficielle d'à peu près 20 hectares, comprennent environ 15,000 mètres de galeries et puits ouverts, sur une hauteur de près de 170 mètres. La galerie d'écoulement la plus basse, ouverte en 1811, ainsi que nous l'avons dit, n'a pas été achevée.

Mine des Cromots. — Séparée de la mine des Chalanches par un intervalle de 300 mètres, cette mine fut ouverte par M. Schreiber. On y a trouvé plusieurs filons, qu'on dit être riches, et qui présentent les mêmes caractères que ceux dont nous avons parlé plus haut.

On avait commencé une galerie pour atteindre le fond d'un puits, dit puits Cromot, d'où l'on avait extrait de l'argent natif; cette galerie est restée inachevée.

Observations. — D'après ce que nous avons vu plus haut, on avait obtenu, en 1801, après trente-deux ans d'exercice, un bénéfice de 207,585 francs avec une dépense de 1,890,896 francs. D'après les idées que nous nous faisons aujourd'hui d'une mine, ces chiffres paraissent bien restreints et les bénéfices bien minimes. Mais, d'après les comptes de cette époque, il est facile de voir que ces dépenses ont non-seulement couvert les frais d'exploitation et de fusion, mais encore des frais généraux considérables, comprenant les frais d'installation et de construction des usines, ainsi que ceux d'une foule de recherches entreprises sur un grand nombre de points des montagnes de l'Oysans.

Le fonds de roulement ne dépassant pas sensiblement 60,000 francs par an, la production annuelle était très-faible; elle ne s'élevait pas moyennement à plus de 500 quintaux; les frais généraux atteignaient le chiffre énorme de 50 francs par 100 kilos, et l'on rejetait tous les minerais argentifères qui tenaient moins de 3 onces d'argent au quintal ancien, soit moins de 187 grammes aux 100 kilos.

Il paraît donc probable, sans méconnaître l'habileté avec laquelle les travaux ont été dirigés à cette époque, que les produits auraient été beaucoup plus importants si l'activité avait été plus grande.

Cette exploitation du siècle dernier a été particulièrement limitée et ne s'est pas étendue à plus de 500 mètres horizontalement à partir du jour. Tous les travaux de cette époque furent ainsi concentrés sous une surface peu étendue. Cette disposition provenait de l'idée que possédait M. Schreiber que le plus grand nombre des filons n'avaient qu'une très-faible longueur et atteignaient à peine 100 mètres.

Ces observations, dit avec raison M. Gruner, d'un mineur saxon tel que M. Schreiber, ont sans doute une certaine importance, mais il ne faudrait pas leur attacher un sens trop absolu.

D'une part, dit-il, plusieurs filons ont dépassé les limites assignées, et il importe peu qu'un même filon ne se poursuive pas au loin, si au delà des parties stériles on trouve des filons non moins riches.

Il est donc regrettable que les travaux ne se soient pas prolongés davantage dans le sein de la montagne, et rien ne prouve qu'on n'y trouverait pas de nouveaux gisements.

Rappelons encore que depuis 1792, depuis l'époque où les mines des Chalanches passèrent dans les mains de l'État, on s'est généralement plaint de l'apauvrissement des gîtes; mais cet appauvrissement paraît ne devoir être que le résultat inévitable de recherches insuffisantes.

Cette assertion résulte même de l'examen des documents laissés par M. Schreiber, tels que plans et registres d'avancement, très-régulièrement tenus, que l'on peut consulter encore aujourd'hui; car on y voit que lorsqu'on exploitait avec bénéfices, 60 pour 100 des dépenses étaient constamment affectés aux recherches.

A l'aide de ces recherches sagement dirigées, nécessaires à cause de l'irrégularité de la richesse métallique, on préparait l'avenir, et pendant qu'on les exécutait on mettait en exploitation les parties métallifères. Il est probable que dans le cours des années qui ont suivi 1792, on s'est départi de cette règle salutaire, et c'est là probablement qu'il faut chercher la cause de l'appauvrissement signalé.

En *résumé*, d'après tout ce que nous venons de dire et d'après l'examen des lieux, nous voyons que la mine des Chalanches consiste en un réseau de filons et de veines d'autant plus nombreuses qu'ils se rapprochent davantage de la surface;

Qu'elle constitue une sorte de stockwerck paraissant tendre à être remplacé dans la profondeur au-dessous des 170 ou 200 mètres explorés déjà par un petit nombre de filons principaux et réguliers;

Que, pendant la première période d'exploitation, sous la direction de M. Schreiber, elle n'a pas cessé de donner des produits argentifères, mais que ces produits et les bénéfices qui en résultaient furent toujours très-limités à cause du peu d'extension annuelle des travaux;

Que de 1800 à 1873 aucun travail sérieux n'a été entrepris sur cette mine; aucun travail de reconnaissance n'a été exécuté dans la profondeur, et qu'on n'a pas même achevé les galeries d'écoulement commencées aux Chalanches et au Cromot;

Qu'aucune recherche n'a été poursuivie dans l'intérieur de la montagne au delà des parties explorées ou exploitées jusqu'à ce jour, pas plus que dans l'intervalle qui sépare la mine du Cromot de celle des Chalanches, intervalle dans lequel on pourrait espérer de trouver de nouveaux filons argentifères;

Que les filons n'ont été, en réalité, explorés que près du jour;

Que, par conséquent, la question de continuité de la richesse métallique, dans la profondeur, paraît exister tout entière avec des caractères assez saisissants pour légitimer et justifier une reprise de travaux;

Enfin, il est permis de croire que, suivant toute probabilité, une activité plus grande, la recherche des minerais de cobalt et surtout de ceux

de nickel, qui ont aujourd'hui une valeur importante, des travaux plus étendus, soumis à une surveillance sévère, pourraient modifier avantageusement la situation de ces mines et les faire sortir de l'état d'inaction dans lequel elles se trouvent depuis trop longtemps.

Fonderie d'Allemont. — Les minerais des Chalanches, ainsi que tous ceux que l'on extrait dans les montagnes de l'Oysans, étaient fondus à Allemont.

Cette fonderie, qui existe encore aujourd'hui, est située dans le fond de la vallée d'Olle, à un quart de lieue du village d'Allemont, à 2 kilomètres de la plaine du bourg d'Oysans, et au pied de la montagne des Chalanches.

Elle est située au centre du district métallifère et des traditions anciennes, confirmées par les documents locaux, par la découverte de débris fondus sur l'emplacement des fouilles faites pour l'établissement des fondations, indiquent que cette localité a possédé, de temps immémorial, des fourneaux de fusion pour les métaux[1].

Les minerais des Chalanches y étaient fondus avec des litharges ou du plomb métallique provenant des minerais des environs. Plus tard, on se servit des schlicks de Pesey, qui avaient ainsi à parcourir un trajet de 190 kilomètres.

De 1792 à 1802, la mine de Pesey étant abandonnée, on se trouva à Allemont dans une des positions les plus critiques, et précisément alors commença la période décroissante de l'établissement.

Pendant les diverses phases traversées par l'usine d'Allemont depuis 1808, les minerais des Chalanches étaient associés avec des minerais plombeux des mines de l'Oysans, que l'on exploitait particulièrement à Lagrave, au Grand-Clos, etc.

Mines de La Fare et du Clos. — Aux environs d'Allemont et au pied des montagnes des Chalanches se trouvent des filons métallifères dont quelques-uns ont été autrefois l'objet de recherches assez étendues. A la Fare et au Clos, on voit encore les entrées éboulées des galeries. Ces travaux remontent à une époque très-reculée et on les attribue aux Sarrasins.

En 1778, M. Schreiber entra dans les gisements de La Fare, où l'on reconnut un filon de 0,12 à 0,60 de puissance, dirigé au nord-ouest, présentant de la galène pure argentifère et des pyrites de cuivre et de fer. La gangue quartzeuse présentait encore du spath calcaire ferro-manganésifère et du sulfate de baryte[2].

Il paraît que ces mines ont été peu productives, et M. Schreiber n'y a pas poursuivi les travaux qu'il y avait commencés.

1. Roussillon.
2. Graff. *Lettre inédite.*

Articol. — Cet endroit était connu par le minerai de fer qu'on en extrayait et le fourneau de fusion qu'on y construisit, dont on voit encore aujourd'hui les ruines. On y signale, dans les hauteurs, plusieurs filons de cuivre pyriteux dans une gangue ocreuse.

Mine du Grand-Clos. — L'argent existe principalement dans les Alpes, associé aux minerais de plomb et de cuivre.

Le premier gisement de ce genre, dont nous parlerons, est celui qui se montre aux yeux des voyageurs quand, à peu de distance avant d'arriver à Lagrave, ils admirent les escarpements abruptes de la vallée de la Romanche et les cimes pittoresques qui dominent les glaciers et les neiges éternelles.

La concession du Grand-Clos s'étend à la fois, autant que nous pouvons le croire, sur les départements de l'Isère et des Hautes-Alpes. La mine qu'on y a travaillée est située sur la route de Grenoble à Briançon, à peu de distance de Lagrave.

Historique. — Elle fut travaillée, pour plomb et pour alquifoux, vers 1827, et abandonnée en 1829 par suite de la baisse des droits d'entrée sur les plombs étrangers.

1835-1839. Reprise par la Société d'Allemont et des Hautes-Alpes, on l'abandonna au moment de la chute de la Société, en 1839.

1843. Reprise par les acquéreurs des mines de Chalanches, elle fut abandonnée en 1845.

1861. Reprise après un abandon de plus de quinze ans, elle fut de nouveau inactive à partir de 1867, état dans lequel elle se trouve encore aujourd'hui, 1873.

Gisement. — Les mines que l'on a travaillées dans la concession du Grand-Clos consistent en plusieurs filons qui traversent la vallée.

Deux de ces filons, dits filons de *Pisse-Noire* et *Javanel*, ont été surtout l'objet des travaux qu'on a faits jusqu'à présent, tels que ceux de l'*Escarcelle* et de la *Grande-Balme*.

Ils sont enclavés dans les couches du gneiss, dont ils suivent presque la direction et l'inclinaison; il sont à peu près verticaux et se dessinent à la surface de l'escarpement vertical de la vallée, sans variation sensible, sur une hauteur de 5 à 600 mètres.

Ils présentent un des plus beaux exemples que l'on possède en France de la continuité des gîtes dans le sens de la profondeur.

Filon de Pisse-Noire. — Direction à peu près *nord-sud*, puissance variable de 1 à 2 mètres; gangue quartzeuse. Il traverse la Romanche et prend, sur la rive gauche, le nom de *Fèche-Ronde*.

De ce côté, on peut le suivre sur une hauteur de plus de 100 mètres, et on le voit se perdre au-dessous du glacier de Girose. Ces filons s'étendent sur plusieurs kilomètres.

Filon de Javanel. — Absolument analogue.

Minerai. — Il consiste en galène à larges facettes et à grains d'acier; il est généralement pauvre en argent, et c'est là une des difficultés principales que les exploitants ont rencontrée jusqu'à présent.

Cette galène rend jusqu'à 70 pour 100 de plomb et de 50 à 60 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Les travaux ont été ouverts sur les deux côtés de la Romanche, mais principalement sur la rive droite. On a pu y atteindre les parties métallifères à l'aide d'échelles appliquées contre les parois du rocher, et l'on s'est constamment élevé de façon à extraire toutes les parties métalliques les plus rapprochées de la face extérieure de l'escarpement de la vallée. Tous les renseignements que nous avons pu recueillir portent à faire croire qu'aucune des Sociétés qui ont exploité jusqu'à ce jour n'a exécuté aucune galerie d'allongement qui aurait pénétré plus avant dans l'intérieur de la montagne, et aurait pu reconnaître d'autres parties riches de minerai.

On comprend que la faible teneur en argent du minerai n'encourageait pas à faire des travaux d'exploration; mais quand on remarque, ainsi que nous aurons lieu de le signaler tout à l'heure, qu'il existe dans la même montagne des filons courant dans une direction différente et renfermant des minerais riches en argent, il est permis de croire qu'il n'eût pas été déraisonnable de poursuivre, sur la direction de Pisse-Noire, une galerie qui aurait pu, peut-être, rencontrer des croisements avantageux et transformer ainsi la fortune de l'entreprise.

Dans ces dernières années, on a tenté d'abattre la roche au moyen du feu, comme faisaient les anciens avant l'invention de la poudre, mais ces essais, qui semblaient avoir assez bien réussi quand on les appliquait sur un bloc erratique de la vallée, n'ont pas produit de résultat satisfaisant quand on a voulu attaquer le quartz massif, qui, en quelques points, atteint plus de 1 mètre d'épaisseur.

Une laverie, située sur les bords de la Romanche et le long de la route de Briançon, avait été construite vers 1835, par la Société des Hautes-Alpes; mais, en 1861, elle avait paru insuffisante, et elle fut sensiblement augmentée.

Les minerais étaient descendus à la laverie au moyen de chariots glissant sur des câbles en fer, dont les points d'attache étaient fixés à l'escarpement de la montagne, aux divers points d'extraction et jusqu'à plus de 200 mètres de hauteur.

Gisement de Chazelay. — Nous disions tout à l'heure que des filons cou-

rant dans une direction différente de celle des filons du Grand-Clos pouvaient se trouver dans la même montagne, recouper ces derniers et peut-être donner lieu à des nœuds ou à des accroissements de richesse inconnus aujourd'hui. Nous en trouvons la preuve dans l'existence du filon de Chazelay, situé entre le Grand-Clos et Lagrave.

A Chazelay, qui se trouve au-dessus des escarpements de la Romanche, la nature a complétement changé d'aspect pour l'observateur, et si des hauteurs où il se place il peut admirer les glaciers de Lagrave, les anfractuosités des montagnes et les pics qui les dominent, il ne voit autour de lui qu'une vaste plaine ondulée, couverte de pâturages soustrayant aux regards les affleurements métallifères pouvant se trouver au-dessous d'eux.

C'est près de Chazelay, sur la rive droite du torrent qui coule au pied du village, que se présente l'affleurement du filon que l'on explorait en 1869.

Ce filon coupe nettement et presque à angle droit les couches du calcaire du lias, qui forment en quelque sorte un manteau recouvrant les gneiss, dont sont exclusivement formés les escarpements de la Romanche.

D'après cette disposition, on conçoit que le filon de Chazelay atteindra le gneiss à une certaine profondeur au-dessous du lias, et pourra y présenter des caractères différents de ceux qu'on lui connaît aujourd'hui.

La puissance de ce filon est de 0,80 à 1 mètre, sa direction est N.-O., tandis que celle des filons du Grand-Clos se rapproche de N.-S.

Sa gangue est principalement formée de baryte sulfatée et de chaux carbonatée, accompagnée d'un peu de spath fluor et de quartz.

Le minerai consiste en galène, rendant 4 1/2 à 5 1/2 d'argent aux 1000 kilos de plomb d'œuvre. La teneur en argent a singulièrement varié, ainsi que le démontrent les résultats suivants[1] :

	533	gr. aux 100 kilos de plomb d'œuvre.
Puy et Radisson (Lyon). . .	1,600	—
Halse (Allemont)., ...	1,640	—
Vicaire (Saint-Étienne).. . .	645	—
	688	—
École des mines de Paris. .	850	—
Essai en grand fait à Allemont sur 12,700 kil. . . .	646	—

On a trouvé dans la même mine du nickel et du cobalt.

Les travaux de recherche exécutés sur ce filon consistaient en puits et galeries, et, près de l'entrée de la galerie principale d'extraction, ouverte sur ce filon même, on avait construit un atelier de lavage, consistant

1. Baudinot.

en cylindres broyeurs, tables à secousses et cribles, animés par une roue hydraulique sous une chute d'eau de 8 mètres. Ce gisement, le seul que l'on connaisse aujourd'hui dans cet endroit, avait déjà été signalé par M. Gueymard à cause de l'aspect particulier de la galène qu'il renferme, et dans laquelle il avait trouvé 9 pour 100 de cobalt.

Mines de la chaîne des Rousses. — Lorsque de la petite ville du Bourg d'Oysans on dirige ses regards sur les montagnes escarpées qui forment la rive droite de la Romanche, on aperçoit sur les hauteurs le clocher du village d'Huez, situé à 750 mètres au-dessus de la vallée. Si l'on veut gravir ces hauteurs, on passe par le village de Lagarde, l'ancien *Catorissium* des Romains, le lieu où résidait l'intendant ou l'officier gardier des Dauphins. Huez, d'une origine fort ancienne, si l'on en croit la tradition, prit naissance à l'époque des plus anciennes exploitations minérales qui furent créées dans ces montagnes, et il s'accrut ensuite d'une des migrations sarrasines réfugiées dans l'Oysans. Le grand chemin de Brandes, dont on voit les traces encore aujourd'hui, traversait ses murs, et plus d'une fois il donna passage au cortége delphinal dans les visites du prince à l'établissement dont nous parlerons tout à l'heure.

Au-dessus d'Huez, à près de 1,800 mètres au-dessus de la mer, l'œil découvre les vastes prairies qui s'étendent au pied de puissantes montagnes, dites les *Grandes* et les *Petites Rousses* à cause de la couleur ocreuse des roches qui en constituent l'ensemble, et le point culminant, l'Étendard, se dresse à 3,600 mètres de hauteur. C'est dans ce groupe pittoresque et accidenté que se trouvent un certain nombre de mines, couvertes de neige pendant une grande partie de l'année; néanmoins elles ont été travaillées activement à plusieurs époques et, probablement, elles offriraient de grandes difficultés si on voulait les exploiter aujourd'hui, à cause de leur position. Nous allons en dire ce que nous en savons.

En gravissant le chemin qui de la plaine monte à Lagarde, on rencontre une excavation ancienne, dont toute tradition est perdue, à environ 100 à 150 mètres au-dessus de la vallée.

Cette excavation paraît ouverte dans les gneiss, sur un filon mince, courant du sud au nord et venant se heurter contre les calcaires du lias. Les travaux, qui semblent assez étendus, sont remplis d'eau. Il y avait là, sans doute, un gisement de plomb argentifère.

Saint-Ferréol-d'Huez.—Après avoir passé Lagarde, au-dessous de Saint-Ferréol-d'Huez, on rencontre dans le vallon de la Sarenne une ancienne excavation que l'on rapporte aux Sarrasins. Elle est ouverte sur un filon quartzeux de plus de 1 mètre d'épaisseur, traversant une roche feldspathique et schisteuse. Les travaux y ont été, dit-on, considérables. C'est probablement sur ce gisement que, d'après Héricart de Thury, la direction d'Allemont, dans le siècle dernier, ouvrit quelques travaux sur un

filon de cuivre gris argentifère, où elle rencontra de grandes excavations dont jusqu'alors on avait ignoré l'existence.

Brandes. — Au-dessus d'Huez et au niveau des prairies qui le dominent, sur les bords escarpés du torrent de la Sarenne, se trouvait l'exploitation de Brandes, dont l'existence ancienne nous est encore aujourd'hui révélée par des tas de déblais qui se développent sur une étendue de 7 à 800 mètres et par des constructions en ruine.

On pense que cette exploitation remonte au temps des Romains ou à l'époque des Sarrasins; que, délaissée peut-être pendant des siècles, elle fut reprise par les Dauphins; ils y appelèrent des travailleurs et y créèrent un établissement important.

A côté de murs écroulés, on voit, au milieu des déblais des excavations, de nombreux écrasements du sol en forme d'entonnoirs indiquant des éboulements intérieurs dans de vastes travaux, et sur les bords du torrent on voyait encore, au commencement du siècle actuel, d'anciennes retenues d'eau et des meules de quartz ou de grès micacé.

Cet établissement était dominé par une tour de 10 mètres de diamètre, dont on voit encore la base, et cette tour, d'après la tradition, aurait appartenu à un prince ladre, directeur des exploitations, et très-vraisemblablement à l'un des princes de la famille des Dauphins, qui y établit sa résidence pendant plusieurs années[1].

En 1776, on découvrit, près de la tour, un tombeau de marbre blanc, orné de cristaux parangons, c'est-à-dire de cristaux de quartz pur, limpide et de la plus belle eau. Il contenait des ossements très-grands, et, dans le fond de ce tombeau, on pouvait lire une inscription grecque, que nous a conservée M. Héricart de Thury.

On ne peut pas remonter à l'origine ou à la cessation des travaux de cette localité, car on n'en possède que peu de souvenirs. On suppose que les Romains, dont la route principale de Lyon à Milan passait non loin de là, y entretenaient des criminels. On sait qu'en 1220 on parlait de l'argent des mines de Brandes, et que le Dauphin Guignes André ordonna, par un testament de 1236, qu'on prélèverait pendant trois ans, sur le produit de l'argenterie de Brandes, la somme nécessaire pour l'entière construction de l'église de Saint-André de Grenoble.

Ces mines sont encore rappelées dans un document de 1336, existant dans les archives du Dauphiné, où l'on constate le transport des minerais de Brandes, *ad Gratianopolim*, à Grenoble. En 1740, on en découvrit encore un analogue, portant la date de 1404.

Ces dates diverses indiquent évidemment qu'il y a eu là une exploitation de plusieurs siècles.

1. *Guide de l'Oysans.* Roussillon.

Gisement. — Si l'on examine la surface du lieu où ont été pratiqués les travaux, on ne voit pas autre chose que des déblais exclusivement barytiques, dans lesquels il est excessivement difficile de trouver des traces de minerai. Cependant, en parcourant les environs, on peut voir un affleurement barytique et quartzeux de plus de 1 mètre de puissance, qui donne l'idée de ceux que l'on a travaillés.

Les alignements des éboulements indiquent encore que l'on poursuivait plusieurs filons formant une sorte de faisceau et suivant des directions différentes et moyennement de l'est à l'ouest.

D'après M. Gueymard[1], on voit un premier filon sur la rive droite de la Sarenne, de 0,80 à 1 mètre de puissance; il est encaissé, comme les autres, dans de la protogine.

Les minerais extraits auraient consisté en galène et cuivre gris argentifère. On a pénétré dans les travaux à plusieurs époques, et notamment vers 1835, mais jamais ils n'ont été repris depuis le moyen âge.

Il nous reste à rappeler maintenant que cette mine se trouve à quelques centaines de mètres seulement des mines d'anthracite, que l'on exploite au-dessus d'elle dans les falaises rocheuses qui la dominent, et où nous avons pu voir, en 1873, une puissance de charbon de plusieurs mètres.

Lac Blanc. — En gravissant les pentes escarpées qui se trouvent au-dessus de la mine de Brandes, on arrive au lac Blanc, gelé pendant huit mois de l'année, situé entre les Grandes et les Petites Rousses, coupées par un grand nombre de filons de plomb et de quartz, dont la plupart ont été explorés ou exploités par les anciens.

Au lac Blanc on voit les anciens travaux et les débris barytiques, sur les bords ou dans l'intérieur du lac.

L'Herpie. — A l'Herpie se montrent des filons du même genre et des travaux anciens très-étendus; ils sont situés à 2,245 mètres au-dessus de la mer. Exploré en 1806, le filon qu'on y travaillait a produit:

2,085 kilos de galène,
2,000 — de plomb carbonaté terreux,

qui ont donné 1,416 kilos de plomb ou 34,6 pour 100 et 6,170 kilos d'argent ou 4 kilos environ aux 1,000 kilos de plomb d'œuvre.

Ces exploitations ont été promptement abandonnées à cause de l'âpreté du climat.

La Demoiselle. — Du côté de Vaujany et d'Oz et dans les mêmes chaînes se montrent encore d'autres exploitations, et, entre autres, celle de la

1. *Statistique de l'Isère.*

Demoiselle, que l'on considérait comme une mine d'or. Cette mine, dit M. Lory, est située dans un granite à grains fins; elle est l'objet de égendes fabuleuses. Le minerai y consiste en pyrites de cuivre aurifère. Le gîte est à une très-grande hauteur, et le minerai, ajoute M. Lory, paraît peu abondant.

La Cochette. — Situé dans la même partie de la chaîne des Rousses, le filon de la Cochette, connu depuis longtemps, fut découvert de nouveau en 1801. Il est encaissé dans les calcaires magnésiens, dont l'épaisseur est assez limitée et qui reposent directement sur les gneiss. Suivant M. Lory et M. Gueymard, ce filon pourrait acquérir dans ces dernières roches plus de puissance et de régularité, et il pourrait être utile de l'y chercher.

Le minerai consiste en cuivre pyriteux et en cuivre gris argentifère. On en a analysé quelques fragments qui renfermaient une valeur de 48 francs d'argent aux 100 kilos[1].

Cette mine a été l'objet d'anciens travaux dont on ne retrouve aucun souvenir, ni dans les traditions, ni dans les documents locaux. D'après les Mémoires des intendants, écrits en 1698, sous Louis XIV, on y voit qu'elle fut travaillée à cette époque et bientôt abandonnée comme toutes celles de la contrée « à cause de la difficulté des chemins des montagnes où elles se trouvent et de la rareté des bois à portée des mines. » A cette époque, les routes actuelles n'existaient pas, et les chemins dans les Alpes devaient être dans l'état le plus déplorable.

On essaya encore d'y travailler vers 1838, mais ces nouvelles tentatives furent abandonnées par les mêmes raisons qui suspendirent tous les travaux de la Société des Hautes-Alpes.

Plan des Cavalles. — Nous signalerons encore, d'après M. Gueymard, dans la chaîne des Rousses, le Plan des Cavalles, où se trouvent aussi des exploitations anciennes antérieures à l'usage de la poudre.

Les déblais renferment des cuivres carbonatés platinifères.

Presque toutes ces dernières mines ont un accès beaucoup plus naturel du côté de Vaujany que de celui d'Huez et du Bourg-d'Oysans.

Mine du Molard. — Cette mine, située dans le vallon de l'Eau-d'Olle, fut exploitée pendant quelque temps par M. Schreiber pour la fonderie d'Allemont. Le minerai y rendait 60 kilos de plomb pour 100, 122 à 286 grammes d'argent et 2 grammes 25 d'or aux 100 kilos. Il paraît que ce minerai était peu abondant, car les travaux y furent bientôt abandonnés.

Mines d'Oulles. — Aux environs d'Allemont et sur la rive gauche de la

1. Lory, p. 163.

Romanche, se trouve la mine d'Oulles, signalée depuis longtemps[1] et située au sommet du mont Infernet, dont l'effet pittoresque est si saisissant quand on le contemple des hauteurs de la mine des Chalanches, devant laquelle il se trouve.

Cette mine fut explorée vers 1835, comme presque toutes les mines de ces contrées, par la Société des Hautes-Alpes; mais c'est plus tard que la concession en fut régulièrement donnée à un nouveau propriétaire, qui en abandonna le travail quelques années après.

Quoiqu'elle se trouve dans des lieux profondément alpestres, elle offre un grand intérêt à cause de son voisinage de la mine argentifère des Chalanches et par les produits qu'elle peut fournir pour le traitement des minerais de cette dernière.

Le mont de l'Infernet est formé des mêmes roches gneissiques que l'on retrouve sur les versants de l'Eau-d'Olle, et leurs couches sont presque verticales.

Gisements. — Une série de filons quartzeux, dirigés N.-O. S.-E., coupent transversalement le gneiss et la crête de la montagne. Parmi ces filons, on en distingue trois ou quatre ayant plus de 1 mètre de puissance, avec des renflements atteignant parfois 10 mètres. On peut les suivre depuis la crête de l'Infernet, le long du flanc méridional de la montagne, jusqu'au point où le système ardoisier du lias vient recouvrir le gneiss, c'est-à-dire sur près de 1000 mètres de hauteur verticale[2].

A côté de ces filons principaux, on remarque des veines latérales qui s'en détachent çà et là et les rejoignent un peu plus loin.

Minerai. — Il consiste en galène, cuivre pyriteux et cuivre gris disséminé dans un quartz carié ou compact, quelquefois remplacé par de la baryte sulfatée. La teneur moyenne en argent peut être considérée comme étant de 200 grammes aux 100 kilos de plomb d'œuvre.

Vers 1848, on exploitait un des filons qui coupe la crête de l'Infernet, et la galène s'y montrait en veines de 2 à 3 centimètres d'épaisseur avec un mélange de cuivre gris et de cuivre pyriteux.

A cette époque, on construisit une laverie dans la vallée de la Romanche, au pied de la montagne, et le minerai, après avoir été traîné par un chemin très-raide, assez long, y était transporté par voitures sur une distance de 3 kilomètres.

Ces conditions de transport et de grande élévation des travaux au-dessus de la plaine durent, sans doute, être fort onéreuses, et il est probable qu'elles pourraient être notablement et avantageusement modifiées.

1. Anciens minéralogistes.
2. Gruner. *Mémoire inédit.*

Montagne de l'Homme. — La concession de ce nom est située sur la rive gauche de la Romanche, en face de Lagrave et de Villard-d'Arènes. Des travaux y ont été ouverts de 1835 à 1839, par la Société des Hautes-Alpes, sur trois filons de cuivre pyriteux.

L'accès en est très-difficile, et depuis 1839, époque de la dissolution de la Société, personne n'y a fait aucune recherche.

Lautaret. — La concession du Lautaret, abandonnée comme celle de la montagne de l'Homme et pour les mêmes raisons, est située au fond du col de Lautaret; elle renferme plusieurs filons de cuivre gris et pyriteux, enclavés dans la protogine, qui paraissent peu réguliers.

Chardonnet. — La concession du Chardonnet, située dans les lieux les plus alpestres, possède sept à huit filons de cuivre pyriteux à une grande hauteur.

Parmi ces filons, on en distingue un qui fut l'objet de travaux effectués vers 1835, par la Société des Hautes-Alpes.

Ce filon possède une puissance moyenne de 2 mètres; sa régularité est très-grande et il est visible sur une étendue de plus d'une lieue.

Il renferme du cuivre pyriteux massif et disséminé dans une gangue de quartz et de spath ferro-magnésifère, avec un peu de cuivre gris.

Il contenait 124 grammes d'argent aux 100 kilos de minerai, et souvent 28 pour 100 de cuivre métallique: le minerai de boccard donnait 4 à 5 pour 100 de schlick[1]. Malheureusement ce beau filon se trouve à environ 3,000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

L'Alp. — La concession de ce nom est située aux sources de la Romanche, à quelques cents mètres des glaciers; elle se trouve sur un contrefort du massif du Pelvoux, composé, comme la majeure partie de la contrée, de gneiss feldspathiques sur lesquels vient s'appuyer directement le lias.

Les gisements de l'Alp furent découverts en 1833, travaillés en 1835 par la Société des Hautes-Alpes, et abandonnés en 1839. On fit encore quelques tentatives vers 1847, et depuis cette époque jusqu'à aujourd'hui ils ont été complétement délaissés.

On y voit plusieurs filons de minerais de cuivre qui, d'après M. Lory, consistent généralement en veines métallifères disséminées dans les gneiss, et formant plusieurs faisceaux d'une puissance et d'une étendue remarquables.

On a particulièrement travaillé à ciel ouvert, en 1835, trois gisements:

1° Un filon dirigé sur l'heure 5, incliné à l'ouest, intercalé entre les feuillets du gneiss; puissance 2 mètres. Il renfermait des veines métalli-

1. Graff, *Lettre inédite.*

fères variant de 0,01 à 0,15, présentant dans une gangue quartzeuse et spathique de la galène, un peu de cuivre gris, du cuivre pyriteux et de la pyrite de fer[1].

Les minerais de ce gîte rendaient 30 pour 100 de plomb, 70 pour 100 de cuivre et 70 grammes d'argent aux 100 kilos.

2° Un filon couche d'une puissance de 3 mètres, avec veines métallifères de 0,03 à 0,25 d'épaisseur, contenant les mêmes minerais que précédemment et du carbonate de cuivre, rendant 35 à 40 pour 100 de plomb, 2,50 pour 100 de cuivre et de 80 à 90 grammes d'argent aux 100 kilos. On y a très-peu travaillé.

3° Une sorte d'amas large de 15 mètres, haut de 12, entrecoupé de veines de minerais de cuivre argentifère d'une épaisseur variant de 0,01 à 0,20, rendant 114 grammes d'argent aux 100 kilos et 9,50 pour 100 de cuivre.

De 1834 à 1836, la Société des Hautes-Alpes fit construire un atelier de préparation mécanique à proximité de ces divers gisements; malheureusement la neige le recouvrait pendant une grande partie de l'année.

Fonderie du Lauzet. — La même Société avait construit au Lauzet, dans la vallée de la Guisane, une fonderie destinée principalement à fondre les minerais de plomb de la mine de l'Argentière et ceux du Chardonnet, et avec eux ceux des concessions voisines qui lui appartenaient. Cette fonderie avait été élevée en vue d'utiliser l'anthracite du pays. On avait pu employer ce combustible pour le grillage dans les fourneaux à réverbère, malgré la teneur de 15 à 20 pour 100 de cendres, mais la friabilité fut un obstacle pour son emploi dans les fourneaux à cuve.

Toutes les constructions étaient terminées et prêtes à marcher quand le fonds de roulement nécessaire vint à faire défaut. Elle fut abandonnée en même temps que les trop nombreux travaux entrepris sur une foule de points des Alpes, et n'a jamais été remise en activité.

Nous n'avons pas à exprimer d'opinion sur la valeur des mines des Hautes-Alpes dont nous venons de parler; mais, malgré l'insuccès de 1835, nous pensons qu'elles méritent d'être revues et étudiées; nous le croyons d'autant plus, que, selon M. l'ingénieur Graff, si les fonds n'avaient pas manqué au moment où ils étaient encore nécessaires, avant que les travaux fussent suffisamment développés pour être productifs, la réussite de l'entreprise n'aurait pas été entravée par les frais de transport du minerai et malgré l'élévation de ces frais.

Mine des Acles. — Cuivre. Elle est située près du village de Planpinetz Briançonnais). On y fit des recherches en 1833.

Ce gisement se composerait de veines très-irrégulières et sans suite,

1. Société industrielle de Lyon, *Mines de l'Alp.* Graff, 1865.

formées de carbonate de cuivre; ces veines se trouveraient sur une largeur de plusieurs mètres, dans un calcaire dolomitique.

On croyait que ces veines pouvaient se réunir et former un faisceau exploitable, mais les travaux commencés ayant constaté que, dans leur parcours, cette réunion n'avait pas lieu, les recherches furent abandonnées en 1834. Depuis cette époque, aucune tentative nouvelle ne paraît y avoir été faite.

Mine de l'Argentière. — L'une des concessions les plus importantes du département des Hautes-Alpes, celle de l'Argentière, est située près du village de ce nom. Les travaux se trouvent au fond de la vallée du Fournel, qui de ce village conduit à l'Alp-Martin.

Historique. — La mine de l'Argentière a été exploitée dans les temps les plus reculés, et on fait remonter à l'époque romaine les premiers travaux qui y furent exécutés; mais elle paraît avoir été travaillée avec beaucoup d'activité pendant le moyen âge.

En 1127, Guillaume V, comte de Forcalquier et de l'Embrunois, avait donné à l'église d'Embrun le tiers du produit de ces mines. Des contestations eurent lieu, à l'occasion de ce don, entre l'archevêque, le prévôt et le chapitre, qui se renouvelèrent sous le pontificat de Luce III, et ne se terminèrent que sous celui d'Innocent III, entre 1198 et 1216[1].

En 1220, le comte de Viennois et d'Albon percevait, pour son droit de seigneur, 6 onces 1/4 d'argent sur 16 marcs, environ 4,6 pour 100[2].

En 1690, elle paraît avoir été exploitée[3].

En 1698, l'intendant de la province du Dauphiné écrivait : « Il a été ouvert une mine à l'Argentière, à 4 lieues au-dessus de Briançon, dont le travail a cessé à cause du peu de matière qu'on en retirait[4]. » Mais, dans le même Mémoire, l'intendant fait remarquer que le pays est dépeuplé par suite de la désertion d'une partie des nouveaux convertis, de la guerre et de la stérilité des années 1693 et 1696.

Les travaux, abandonnés à cette époque par suite des malheurs publics, furent repris dans la première moitié du dix-huitième siècle, et abandonnés de nouveau en 1740 comme improductifs.

Repris de nouveau en 1785, ils furent délaissés en 1792, à l'époque de la Terreur, et restèrent ainsi abandonnés jusqu'en 1835.

Remise en activité à ce moment, elle fut encore abandonnée en 1839 et reprise quelques années après; elle reçut une impulsion convenable en 1851.

1. *Histoire géographique du diocèse d'Embrun*, 1783.
2. Anciens minéralogistes.
3. *Id.*
4. Mémoire des intendants.

La plus grande activité de ces mines paraît donc avoir eu lieu au moyen âge, et les dates que nous avons données plus haut expliquent les vastes excavations qu'on y a rencontrées et les immenses déblais accumulés au dehors.

Suivant toute apparence, les travaux de cette époque, exécutés sans poudre ni galeries d'écoulement, durent être arrêtés par les difficultés d'aérage et d'épuisement qu'avait accrues leur durée séculaire.

En 1785 et dans les années suivantes, plusieurs galeries d'écoulement commencées étaient inachevées au moment où les événements politiques déterminèrent encore une fois l'abandon de la mine. C'est à cette époque que fut construite l'ancienne fonderie de l'Argentière, dont les ruines existent encore, et celle d'un atelier de préparation mécanique.

Ces travaux inachevés furent repris en 1835, et la Société des Hautes-Alpes dut les abandonner après avoir terminé la galerie de la mine basse et recoupé le filon qu'elle trouvait d'une épaisseur de 3 mètres[1]; mais elle ne devait pas profiter d'un résultat qui assurément donnait à ces mines une valeur réelle[2].

Gisement. — Il consiste en un filon principal qui coupe perpendiculairement les couches de quartzite encaissant; son inclinaison n'est que de 30 à 35°, presque parallèle à la surface du sol, et elle donne l'idée d'un filon primitivement vertical qui aurait été rabattu sur l'horizon dans un mouvement général de la montagne qui le renferme.

Ce filon est recoupé par un grand nombre de failles dont la présence en altère la régularité. M. Baudinot, qui en a donné la *description*[3], l'a comparé à un vaste échiquier dont les cases, de grandeur inégale, ne seraient pas au même niveau.

La puissance de ce filon se maintient généralement entre 2 et 3 mètres; il présente des renflements qui la portent quelquefois à 4 et 5, et elle est quelquefois modifiée par des bifurcations plus ou moins étendues suivies d'étranglements de 0,30 à 0,60.

Minerai. — Il consiste presque exclusivement en galène argentifère à grains fins, associée à une gangue le plus souvent quartzeuse, qui devient barytique dans quelques parties du gîte; elle est disséminée dans la roche ou massive, et a présenté des parties compactes d'une épaisseur de 0,20 à 0,80.

La teneur du minerai préparé était de 50 pour 100 de plomb et au moins 3 kilos d'argent aux 1,000 kilos de plomb d'œuvre.

Des travaux immenses ont été exécutés anciennement sur ce beau

1. Société des sciences industrielles de Lyon, 1865. Graff.
2. *Id.*
3. *Bulletin de la Société géologique de France*, 1861.

filon; on ne connaît pas la cause de leur suspension, mais il y a tout lieu de penser qu'il convient de l'attribuer aux difficultés croissantes de l'épuisement dans la profondeur. On peut avoir une idée des masses considérables de plomb et d'argent que l'on en a extraites et de la richesse du gîte, quand on pense que les anciens négligeaient les minerais de boccard qu'ils ne pouvaient utiliser, qu'ils ne recueillaient que les minerais massifs, et que l'on y voit, comme aux travaux de la mine basse, des parties enlevées, sans interruption, à l'aide du feu, du pic et de la pointerolle, sur 67 mètres de longueur, 16 mètres de large et de 2 à 3 mètres de hauteur, représentant un vide de plus de 2,000 mètres cubes[1].

La même richesse métallifère se poursuit dans les profondeurs, au-dessous de ces travaux anciens; mais, suivant toute apparence, il faut aujourd'hui user de moyens plus puissants ou achever des galeries d'écoulement d'une plus grande longueur que celles dont on s'est servi jusqu'à présent. Dans son rapport de 1864, M. Gruner estimait que les travaux préparatoires en voie d'exécution achevés assureraient à la mine une réserve totale de 90,000 tonnes de minerai, représentant une valeur de plus de 36 millions de francs.

Cette évaluation, calculée d'après les apparences du gisement et les produits qu'on en retirait alors, implique nécessairement l'exécution de travaux qui malheureusement ont été délaissés dans ces dernières années, et elle n'est pas atténuée par l'insuccès qu'a éprouvé dans ces derniers temps l'entreprise de la mine de l'Argentière.

En 1869, les exploitants travaillaient en contre-bas de l'entrée principale de la mine, et les travaux se développaient jusqu'à 45 mètres de profondeur. Les épuisements étaient opérés par des roues hydrauliques intérieures, et, dès cette même année, une galerie d'écoulement, ouverte à un niveau inférieur, destinée à amoindrir les frais d'extraction, à annuler les frais d'épuisements et à ouvrir un vaste champ d'exploitation, était déjà suspendue.

La suspension partielle des travaux, opérée récemment, paraît donc devoir être attribuée, d'après ce que l'on en sait, à la nécessité dans laquelle on s'est trouvé d'exploiter en descendant et en épuisant les eaux avec des forces insuffisantes, à des frais généraux et de transports considérables.

La moyenne des dix années d'exploitation, de 1851 à 1861, a fourni 125 kilogrammes de schlich par mètre carré de la superficie totale du filon, en comprenant dans cette superficie les piliers réservés, stériles ou peu riches[2]. Dans beaucoup de points, le rendement s'élevait à 7 et 800 kilos; on extrayait moyennement, chaque année, 700 tonnes de minerai, que l'on expédiait à Marseille.

Pour terminer, nous dirons qu'on n'est pas sûr qu'il n'y ait qu'un seul

1. Graff. Académie des sciences de Lyon.
2. Gruner. Rapports de 1861, 1862, 1864.

filon à l'Argentière, et que les explorations n'ont pas été assez complètes pour qu'on soit aujourd'hui fixé à cet égard.

Mine de Rame ou Ramey. — Cette mine est désignée par Gobet, dans les anciens minéralogistes, comme étant dans le Briançonnais et ayant été concédée en 1155 à Guines Dauphin V, comte de Grenoble, par l'empereur Frédéric Ier. En cherchant à retrouver cette mine, nous avons appris[1] que le village de Rame se trouvait sur les bords de la Durance et qu'il fut détruit, il y a de longues années, par des inondations. Tout porte à croire que, sous le nom de *Rame*, on distinguait la mine aujourd'hui connue sous le nom de l'*Argentière* dont nous venons de parler.

Mines du val Gaudemar. — Le *val Gaudemar* est une longue vallée étroite qui donne passage aux eaux tumultueuses de la Severaisse s'écoulant dans le Drac. Sur ses deux versants se montrent des montagnes arides et abruptes recouvertes en beaucoup de points de leurs sommets par les schistes du lias et formées presque entièrement des roches cristallines dont les couches verticales courent presque parallèlement à la direction de son cours.

De nombreux indices métalliques y étaient connus depuis longtemps, et quelques-uns d'entre eux ont été signalés dans le *Journal des Mines*, an V.

Mine de Saint-Maurice. — Des travaux assez considérables ont été exécutés dans ces dernières années par une Compagnie anglaise, sur un des gîtes de cette vallée, situé sur la rive droite de la Severaisse, commune de Saint-Maurice et au-dessus du hameau *les Roux*.

On connaît dans cet endroit deux filons parallèles dont les affleurements apparaissent sur les flancs de la montagne. Un troisième filon qui se poursuit dans la même direction a été signalé plus au nord, mais il est possible qu'il ne soit que le prolongement des deux premiers. Dans l'un d'eux le plomb domine et le cuivre gris est le minerai presque exclusif des autres.

Gisements. — Celui sur lequel on a principalement travaillé consiste en un filon de cuivre gris à gangue quartzeuse, intercalé dans un granit à petits grains ou mieux, ainsi que l'a défini M. l'ingénieur Baudinot, dans une roche quartzo-feldspathique blanchâtre et compacte que l'on peut assimiler à une sorte d'eurite. Sa direction, comme celle des filons qui l'accompagnent, est environ N. N. O.

Les travaux consistaient en une galerie faite sur la direction du filon et en puits descendants. On avait commencé une galerie d'écoulement

1. Laudy, archiviste, à Gap.

destinée à aller recouper les filons et à les atteindre dans la profondeur, quand ces travaux furent à peu près suspendus; en 1869, au moment de la visite que nous fîmes dans la localité, on poursuivait seulement, et d'une manière peu active, la galerie d'écoulement.

On avait construit au hameau des Roux un atelier de préparation mécanique important, animé par les eaux de la Severaisse, et muni d'un grand nombre d'appareils tels que round-budlers, concasseurs à mâchoires, cylindres-broyeurs, caissons, etc.

Les minerais étaient amenés à cet atelier par des chemins de fer inclinés sur la pente de la montagne sur une longueur de plus de 500 mètres.

Les produits du lavage ou du triage étaient expédiés en Angleterre. Des analyses dignes de foi ont donné une teneur variant de 1200 à 1800 grammes d'argent aux 100 kilos de cuivre.

Lorsque l'on examine tous les travaux exécutés jusqu'à 1869 en ces lieux, on croit voir que les exploitants ont eu principalement pour but d'extraire les minerais les plus voisins de la surface, et d'en tirer promptement un parti. Ils sont descendus dans le gîte du haut en bas comme faisaient les anciens et ont absorbé en constructions un capital considérable. A moins d'une richesse exceptionnelle du gisement ou d'une très-grande facilité d'exécution du travail dans la mine, ce système devait, ce nous semble, conduire bientôt à la suspension des travaux. Il n'en aurait probablement pas été de même si l'on n'avait construit que l'atelier absolument nécessaire et si l'on avait procédé aux travaux par l'exécution d'une galerie d'écoulement, mais il aurait fallu avoir la patience d'attendre.

Nous devons ajouter que la dureté des roches à traverser fut peut-être un obstacle, mais aujourd'hui les difficultés de cette nature sont singulièrement amoindries par l'emploi des matières explosives nouvelles et des perforateurs, et si l'abandon de ces mines a persisté jusqu'à ce jour, ce que nous ignorons, il est permis de croire qu'elles pourront être reprises avec plus de bonheur.

Dans les gneiss qui forment le fond du val Godemar, au-dessus du village de *Clot*, on connaît plusieurs filons de galène à gangue quartzeuse, peu argentifères, tels que les filons de la *Chauvetane* et de la *Touisse*. Ces filons ont une apparence satisfaisante, mais ils sont situés à 2600 mètres d'altitude et leur accès est très-difficile.

Au-dessus du village de *Rif-du-Sap* le gneiss est traversé par des filons nombreux et puissants que leur blancheur fait distinguer de loin. Ces filons sont quartzeux et barytiques, et ils renferment de la galène et du cuivre pyriteux.

Des filons ont été explorés aussi dans ces dernières années et à plusieurs époques aux environs de la *Chapelle* et dans le vallon de *Navettes*, tels que les filons du *Pendillon*. Ces derniers consistent en deux filons

parallèles aux feuillets du gneiss, séparés par un mètre de cette roche. Leur direction est O. 15 N. Ils représentent 2 à 3 mètres de puissance de minerais de boccard.

M. Lory cite encore le gîte de l'*Échaillon*. C'est un filon-couche de quartz métallifère avec pyrite de fer et pyrite de cuivre courant parallèlement à un dyke de spilite.

Enfin, toute cette contrée est traversée par un grand nombre de filons fort étendus, et si quelques-uns d'entre eux semblent susceptibles d'une exploitation fructueuse, il en est beaucoup d'autres, d'après M. Lory[1] qui a donné bien des détails sur ce qui les concerne, où l'on rencontrera toujours des obstacles réels à surmonter à cause de leur grande élévation et de la difficulté des transports. Le val Godemar présente néanmoins le plus grand intérêt au géologue et il pourra être utile au mineur prévoyant et économe.

Gisement du Chapeau.— Dans la vallée de Champoléon, presque parallèle à la vallée du val Godemar, se trouve, auprès du Chatelard, le gîte connu sous le nom de gîte du Chapeau, dans la concession de ce nom.

C'est, à proprement parler, un gîte de contact situé entre le granite et les dolomies du lias.

Les minerais y consistent en cuivres argentifères très-riches, imprégnant les dolomies. Ce gisement avait depuis longtemps fixé l'attention, mais, suivant M. Lory, les recherches qu'on y fit n'amenèrent la découverte d'aucun filon régulier, et elles furent bientôt abandonnées. On n'y travaille plus depuis plus de vingt ans. M. Gueymard a *constaté la* présence du platine dans les minerais de ce gîte.

Mine de la Pierre[2]. Cette mine est signalée dans les *anciens minéralogistes* comme ayant été travaillée pendant plus de 40 ans. Elle est située dans le canton de *Serres*, arrondissement de Gap. D'après M. Ladoucette[3], « on y a autrefois exploité du plomb argentifère, dont on prétend que la « mine a été mal attaquée, conduite sans soupiraux ni galerie d'écou-« lement; » d'après M. Gueymard (archives de Gap), on voyait en 1822 les vestiges de trois galeries ouvertes dans le calcaire, et on ne distingue rien qui indique les traces du gisement. On traitait ce minerai sur place, et l'on voyait encore les scories riches en plomb. On a tenté de reprendre ces mines en 1849, au quartier de la *Baume-Rousse*. Quelques fouilles y furent ouvertes, mais on les abandonna bientôt après, par suite, dit-on, de difficultés survenues entre les intéressés. Depuis cette époque il n'y a plus rien été fait.

1. *Géologie du Dauphiné.*
2. Renseignements communiqués par M. Laudy, archiviste à Gap.
3. *Histoire des Hautes-Alpes.*

Mines des environs de Vizille. — Si, après avoir parcouru les hautes régions du Dauphiné, nous descendons le cours de la Romanche en nous rapprochant de Vizille, nous traversons une contrée fortement accidentée, presque entièrement composée de schistes talqueux et amphiboliques recouverts en certains points par les calcaires du lias.

C'est dans cette partie que se trouvent les concessions des *Ruines de Séchiliennes*, de *Sappey*, de *Pierre Rousse*, de *Laffrey*.

Ces concessions renferment de nombreux filons tenant de la galène, du cuivre pyriteux et du cuivre gris argentifère; mais c'est particulièrement la blende qui paraît y abonder le plus, associée souvent à une gangue de fer spathique, comme dans les filons de Montjean et de Mézages.

On y a fait des travaux dans des temps assez éloignés et, dans ces dernières années, la plupart de ces gisements ont été l'objet de recherches assez nombreuses sans que les résultats aient été satisfaisants.

Mine de Laffrey. — Nous nous rappelons avoir vu, pendant qu'elle était encore en activité, l'exploitation du gisement de Laffrey, situé au sud de ce pays et près du lac du même nom. Le gisement qu'on exploitait un peu en contre-bas du niveau du lac présentait la forme d'un puissant amas quartzeux ayant plusieurs mètres de puissance et renfermant du fer spathique, un peu de galène et beaucoup de blende blonde.

Non loin de là, le calcaire qui recouvre le gneiss est traversé par des filons de blende rouge ou jaune dont plusieurs prennent la forme de filons-couches ou s'y ramifient en une multitude de petites veines, de telle sorte qu'en divers points la roche se trouve comme imprégnée de blende, ainsi qu'on peut le remarquer au gîte de *Lapeyraire*. Un autre gisement, celui de la *Longerolle*, se présente sous forme de fente verticale ou de filon.

Avec ce dernier minerai on rencontre de la galène, du fer ocreux et de la calamine.

Un atelier de lavage, préparant les minerais extraits sur les bords du lac, était établi près de *Laffrey* et auprès de la route de Lamure à Grenoble.

Les minerais de ces localités ont été transportés pendant quelque temps à l'usine de Vizille où on traitait les galènes et les schlicks de Pesey et de Mâcot, dont nous avons déjà parlé et qui n'existe plus aujourd'hui.

Les montagnes de *Taillefer*, *Lavaldens* et d'*Entraigues* renferment de nombreux filons de galène que M. Lory, qui les a visités, regarde généralement comme pauvres. Parmi ces gisements nous citerons le *Filon de Broussier*. Il est situé sur une des crêtes de Taillefer, il est à peu près vertical; sa puissance dépasse un mètre. C'est un filon barytique renfermant de la galène à grains fins, peu argentifère, qui passe sans transition des schistes talqueux dans les calcaires du lias.

Les travaux d'exploration qu'on y a ouverts ont donné lieu de croire qu'il se rétrécissait en descendant.

Ruines de Séchilienne.— On y connaît un filon principal dit *filon des Ruines* d'une puissance de plus d'un mètre. Sa direction est E. 22 N., O. 22 S. Son inclinaison au nord est de 75°. Il renferme de la galène à grandes facettes et de la blende jaunâtre à éclat résineux pareille à celle que l'on exploitait au gisement de Laffrey. Les premiers travaux ouverts sur ce gisement remontent à plus de cent ans. Il a été attaqué de nouveau à plusieurs reprises, et une galerie d'écoulement y avait été commencée.

Ce gisement n'est pas éloigné de la route qui, de Vizille, conduit aux Ruines ou au bourg d'Oysans, et il est situé à 500 mètres environ au-dessus de la Romanche.

Grande-Combe. — On y a aussi reconnu sur la même commune de Séchilienne, à 800 mètres à l'ouest du précédent, un filon de $0^m,35$ de puissance, qui peut être poursuivi sur plusieurs centaines de mètres de distance. Il a été exploité anciennement pour alquifoux. On y trouve aussi un peu de pyrite de cuivre. Sa direction est à peu près E.-O.

Sapey. — En face des ruines de Séchilienne, quelques travaux ont été faits sur un filon de blende de $0^m,50$ à 1 mètre de puissance, courant dans la direction N.-E., S.-O., et présentant de la blende brune avec un peu de galène à gros grains dans une gangue quartzeuse. Ce filon présente de belles apparences[1].

La grande quantité de blende que l'on trouve dans les gisements des environs de Vizille, la faible quantité relative de galène qui l'accompagne, la basse teneur en argent de ces minerais et l'abondance du fer spathique, semblent faire croire que les minerais de zinc et les minerais de fer sont les minerais dominants de cette contrée. Les escarpements que l'on y voit, et la dureté modérée de la roche encaissante en faciliteraient l'exploitation, mais les frais élevés de transport aux usines où ils pouvaient être traités, comme celle de Vienne, ont été des obstacles au développement de ces mines. Ces circonstances ont été probablement les causes réelles de l'abandon de la plupart des travaux et de leur peu de succès dans les années qui ont précédé la guerre de 1870.

Aujourd'hui, en 1873, on exploite activement le minerai de fer carbonaté de *Mésage* et l'élévation du prix des zincs pourrait peut-être permettre la reprise de quelques-uns des gisements blendeux.

Montagne du Conex, environs de Lamure. — La montagne du Conex qui domine les pays de *Laffrey*, de *Pierre-Chatel* et de *Lamotte*, presque entiè-

1. Comptes rendus de 1846.

rement formée de calcaires, est traversée par un puissant dyke de spilite que l'on peut suivre sur de grandes distances, et au delà des environs de Lamure. Cette roche spilitique que l'on rencontre sur un grand nombre de points des Alpes centrales, et souvent dans le voisinage de gisements métallifères, présente les mêmes caractères dans les lieux que nous considérons. Des substances métalliques diverses s'y montrent disséminées tout le long de son parcours, soit dans les calcaires, soit dans le gneiss, et parmi ces substances nous trouvons l'or, le cuivre, le plomb, le mercure et le manganèse. Nous les voyons dans les gisements suivants.

Gisement aurifère de Lamotte-les-Bains. — La présence de l'or fut constatée dans les roches calcaires, formant la rive droite du torrent qui passe au-dessous de l'établissement des bains de Lamotte. Le gisement que nous avons eu occasion de voir au moment où on le travaillait, vers 1856, consistait en veines irrégulières terreuses et ocreuses traversant dans des directions diverses les couches calcaires du lias. M. Gueymard y a reconnu un petit filon tenant comme gangue un carbonate double de chaux et de fer. L'or s'y trouvait à l'état massif et souvent dans une gangue d'un gris verdâtre que M. Gueymard a reconnu être de l'arséniate de nickel. Ce gîte était très-rapproché du dyke de spilite.

Les travaux poursuivis pendant quelque temps n'ont jamais eu réellement d'importance. Les recherches y ont été peu développées, et autant que je puis me le rappeler, elles ont été particulièrement gênées par des circonstances locales.

Gisements de Saint-Arey, mercure, cuivre, plomb, calamine. — Au pied des montagnes du *Snepy*, d'une altitude de 1736 mètres, des explorations furent faites en 1781 par M. Schreiber aux environs de Lamure, à *Saint-Arey*. Ces recherches, longtemps délaissées, furent reprises vers 1850, dans le but de poursuivre de petits filons de cuivre gris riches en argent, et elles conduisirent à la découverte de deux gîtes de mercure.

Voici la description résumée que nous extrayons d'un travail de M. l'ingénieur Scipion Gras [1] :

Le premier gîte, trouvé en septembre 1850 dans un endroit appelé *le Merle*, consiste en une couche de calcaire altéré, caverneux, mêlée d'argile ocreuse, d'une épaisseur moyenne de 0,50.

Cette couche renferme des nids et de petits filons de cinabre, intimement liés à du zinc carbonaté et de la blende. On y rencontre aussi des rognons de bournonite argentifère présentant souvent des indices de la cristallisation.

1. Bulletin de la Société géologique de France, t. VIII.

Le second gîte fut découvert peu de temps après, à 150 mètres environ de distance du premier.

Ici, dit M. Gras, le minerai et les substances qui l'accompagnent sont nettement encaissés.

On compte, dans une largeur de 5m,50, quinze petits filons parallèles dont l'un atteint la puissance de 1 mètre.

La masse principale se compose de carbonate de chaux, de dolomie, de quartz et de fer spathique, dans lesquels sont disséminés des carbonates de zinc, de la blende, de la galène et un peu d'oxyde de manganèse sous forme de poussière noire.

En 1852, les recherches consistaient en excavations à ciel ouvert, et l'on se disposait à construire un fourneau pour le traitement du cinabre. Aujourd'hui tout est dans l'abandon.

Les échantillons que nous avons eu occasion de voir présentaient une assez grande richesse en mercure; mais le zinc et le plomb paraissaient y être les métaux dominants.

Nous ne pouvons rien dire relativement à ce gîte, que nous n'avons pas vu; mais, d'après tous les renseignements recueillis, cette partie des environs de Lamure, au voisinage des terrains anciens et des spilites si intimement liées aux productions métalliques, où l'on signale encore la présence d'une quantité notable de cuivre gris, mériterait une étude plus approfondie que celles qui paraissent y avoir été faites jusqu'à ce jour.

Prunières.— Sur le revers de ces mêmes montagnes, et sur les versants du Drac, se trouvent de nombreux filons de fer spathique mélangés d'une certaine quantité de pyrites de cuivre. Des scories amassées dans les ravins voisins montrent qu'on les a travaillés à une certaine époque; mais, s'ils ne paraissent pas avoir une bien grande importance au point de vue du cuivre, on ne peut s'empêcher de les considérer comme appartenant à un réseau métallifère étendu qui peut-être, dans ses points de croisement, renferme plus de richesses que nous ne pouvons le supposer.

Villaret (Conex). — Au-dessus de ce hameau, dans la commune de Saint-Jean, on a fait des recherches sur des couches de manganèse insérées entre les couches du lias. Leur puissance variable était inférieure à 1 mètre. Ces recherches n'étaient pas poursuivies en 1873. Le manganèse, peu abondant, paraît-il, y était associé à de l'arragonite.

Environs de Vienne.— Bien que les environs de Vienne n'appartiennent pas aux Alpes, nous les avons compris dans la partie que nous décrivons, non-seulement parce qu'ils dépendent du département de l'Isère, mais parce que, en réalité, ils s'y rattachent naturellement par les chaînes secondaires qui s'étendent jusqu'aux approches du Rhône, par les conglo-

mérats glaciaires qui occupent le fond du plus grand nombre des vallées, et surtout par la présence d'une bande de terrains cristallins qui, ainsi que nous l'avons déjà dit, se relient souterrainement, tout à la fois, au groupe des hautes cimes alpines et à celles du mont Pilat et de l'Ardèche.

C'est, en effet, dans cette bande de terrains primaires composés de gneiss traversés par des filons de granites porphyroïdes et d'eurites, que se trouve tout un faisceau de filons métallifères, décrits depuis longtemps par M. Gueymard dans sa *Statistique de l'Isère.*

Historique. — En 1726, M. de Blumenstein qui, dès 1717, avait obtenu la concession des mines de Saint-Julien-Molin-Molette (Loire), fut engagé par le gouvernement à faire des recherches sur des indices que des paysans avaient reconnus aux environs de Vienne.

Des travaux nombreux furent exécutés à cette époque, plus ou moins régulièrement, et poursuivis sur un grand nombre de filons jusqu'en 1840, époque à laquelle une inondation du Rhône vint arrêter les derniers, qui avaient survécu à ceux que la baisse du prix des plombs avait dû faire suspendre.

Voici l'énumération rapide des principaux filons :

Filon *Saint-Marcel* (mont Pipet). — Travaillé jusqu'en 1750, il avait donné des bénéfices; à cette date, une inondation emporta les bâtiments et les minerais. L'exploitation en fut néanmoins poursuivie par galeries, plus ou moins régulièrement, jusqu'à l'an III.

Filon de l'*Ile :* galène et cuivre pyriteux, près du chemin de Provence. Il fut l'objet de travaux de recherche pendant trois ans, et ensuite abandonné comme donnant trop peu de minerai.

Filon de *Ponfilé.* — Découvert en 1729, d'une grande puissance, atteignant quelquefois 8 mètres, ressemblant à une série de gros amas, contenant beaucoup de blende; il fut abandonné après quatre années de travaux pendant lesquelles M. de Blumenstein avait éprouvé des oppositions de toutes sortes de la part des propriétaires des environs, oppositions qu'il n'avait pu apaiser qu'en leur cédant 1/20 du produit brut.

En 1740, les travaux furent continués par de Blumenstein fils, qui avait pu parvenir à transformer le 1/20 du produit brut en 1/20 sur les bénéfices nets.

Filon de *Serpaize.* — Travaillé de 1725 à 1726. Abandonné après une recherche de 60 mètres de longueur.

Filons de *Massié* et de *Guillemottes.* — Abandonnés dans des conditions analogues.

Filon d'*Estressin.* — Découvert en 1750. D'une puissance considérable.

Exploité pour plomb, comme les précédents, et travaillé avec succès pendant dix ans.

Blumenstein fut inquiété par les propriétaires, jaloux sans doute de sa fortune dont ils ne se rendaient pas compte. Il fallut acquérir les propriétés de la surface et suspendre, en tout ou en partie, les travaux pendant la durée des négociations.

Filons de *Saint-Just.* — Attaqués en 1766 et 1767, puis abandonnés à cause des craintes de la ville de Vienne de perdre son eau.

Filon de *la Poipe.* — Avait été exploré anciennement. Les travaux en furent repris en 1777. C'est un beau filon, renfermant particulièrement de la blende, situé sur les bords du Rhône, et qui offre surtout un intérêt particulier parce qu'il est le dernier filon de cette contrée qui ait été travaillé.

Il consiste en un filon puissant où j'ai eu occasion de voir, à l'un des avancements, une épaisseur de blende brune, compacte, de près de 3 mètres. On en tirait alors la galène, qui s'y présentait à larges facettes et peu argentifère, répandue dans une gangue quartzeuse, quelquefois barytique.

En 1848, les travaux les plus profonds étaient noyés depuis l'inondation de 1841.

A cette époque, cette mine fut considérée, avec raison, comme mine de zinc. Elle fut travaillée de nouveau. Un atelier de préparation mécanique et une vaste fonderie qui existe aujourd'hui furent construits sur les bords du Rhône.

Le traitement de la blende que l'on se proposait de poursuivre ayant présenté alors des difficultés, les travaux furent bientôt abandonnés; l'usine resta longtemps en chômage, et elle ne reprit l'activité qu'elle posséde aujourd'hui qu'à l'aide des zincs étrangers.

Mines de Bréziers. — Pour terminer ce que nous pouvons dire sur cette partie des Alpes, nous rappellerons que la note des mines donnée en 1846 par l'Administration signale les mines de *Bréziers et Arzeliers;* mais ces deux pays, très-éloignés l'un de l'autre, n'ont entre eux aucun rapport.

La mine de *Bréziers* (**Hautes-Alpes**) est considérée par M. Lory comme formée de petites veines irrégulières de galène dans le lias. En 1854, on signala dans cette commune la présence du cuivre pyriteux et du cuivre gris argentifère, mais aucune recherche n'y a été faite.

Arzeliers (**Hautes-Alpes**) est un hameau de la commune de Lavagne, et il n'a conservé aucun souvenir de mine.

Or. Après avoir parlé de la plupart des mines plus ou moins importantes, connues en Savoie comme dans les Alpes centrales françaises, il nous reste à rappeler que l'or existe dans un grand nombre des torrents

secondaires de ces montagnes. Tout le monde sait que l'Arve et le Rhône roulent des paillettes d'or, et le Fier, qui traverse les terrains erratiques des environs d'Annecy, fournit aussi parfois 3 ou 4 francs d'or à ses orpailleurs.

Nous savons encore que des mines aurifères sont en exploitation sur l'autre versant des Alpes, et qu'au débouché de la vallée d'Aoste, les Romains ont lavé les alluvions anciennes de la Dora Baltéa, formées aux dépens des matériaux triturés et abandonnés par les anciens glaciers du mont Blanc.

Il paraît donc probable que les dépôts erratiques alpins originaires du mont Blanc puissent aussi renfermer de l'or, du côté de la France.

A ce point de vue, nous dit M. Tardy, membre de la Société géologique, qui a étudié cette question, les immenses dépôts erratiques des environs de Belley, dans l'Ain, qui, probablement, sont du même âge que les moraines d'Ivréa, doivent mériter notre attention et quelques tentatives de recherches. En dehors de cette région, on ne voit nulle part, sauf peut-être au pied du *Credo* et dans la plaine de *Genève*, de dépôts erratiques méritant un essai de lavage.

On a cru que les sables de la Bresse pouvaient être aurifères, et on se fondait sur un document de M. de Thou annonçant qu'en 1602, Henri IV ayant fait un traité avec la Suisse, chacun des députés reçut une médaille dont l'or avait été tiré d'une mine nouvellement découverte dans ce pays. Cette assertion fut reproduite en 1807, et plus tard, vers 1847, par M. l'abbé Nyd; mais les études de M. Tardy et des recherches récentes démontrent qu'on ne peut guère rencontrer le précieux métal qu'aux environs des points que nous avons indiqués plus haut, et seulement dans ceux où, comme à la Serra, en Piémont, les moraines ont été lavées sur place par les rivières.

III

Montagnes Ouest de la France.

Nous comprendrons, dans l'étendue que nous allons examiner, la *Bretagne* et la *basse Normandie*, la *Vendée*, le *Berry*, le *Poitou*, l'*Angoumois* et une partie de la *Guyenne*.

BRETAGNE. — BASSE NORMANDIE.

La *Bretagne* ou la vieille Armorique comprenait au moyen âge, et jusques aux temps de la Révolution de 1789, les évêchés de Saint-Pol-de-Léon, de Tréguier, de Quimper, de Saint-Malo, de Dol, de Vannes, de Rennes et de Nantes.

Aujourd'hui, elle est formée par les départements du Finistère, des Côtes-du-Nord, du Morbihan, d'Ille-et-Vilaine et de la Loire-Inférieure.

Les Armoricains furent les premiers dans les Gaules à s'affranchir de la domination romaine. Ils se constituèrent en république, et jusqu'en 1519, époque de leur réunion définitive à la France, ils furent gouvernés, suivant les circonstances politiques des temps, par des rois, des comtes et des ducs. Ils formaient un État puissant; la tradition comme l'histoire nous rappellent leurs antiques exploits, et l'on n'a pas encore oublié la hardiesse des navigateurs venètes ou la richesse des négociants de Corbilo.

La Bretagne est un pays de légendes où les mœurs anciennes et les anciens usages se sont conservés plus longtemps que chez les autres peuples de la Gaule parce qu'elle eut, moins que ces derniers, à souffrir de l'invasion des Barbares.

Tout s'y transforme aujourd'hui comme ailleurs sous l'influence des

chemins de fer qui la sillonnent ; mais néanmoins, et quoique l'agriculture y ait fait de grands progrès dans ces dernières années, on peut encore la considérer « comme un pays de granite et de quartz, couvert de rudes bruyères et de sombres ajoncs, de chênes éternels, sillonné de montagnes noires, de ravins sauvages, de torrents impétueux, et parsemé de paysages qu'aurait chantés Virgile [1]. »

Coup d'œil géologique. — Nous avons déjà vu que la Bretagne était l'un des pays de la France où viennent apparaître au jour les masses granitiques avec leurs variétés, comme nous les voyons dans le plateau central ou en Angleterre, dans le Cornouailles, au delà de la Manche.

Le granite, vu dans son ensemble, paraît y constituer deux principaux massifs, dont l'un court d'Alençon à l'extrémité du Finistère et jusqu'à l'île d'Ouessant, dont l'autre suit, en quelque sorte, les rivages de l'Océan depuis l'extrémité méridionale de la Vendée jusques et au delà de Quimper. Ces deux massifs sont, pour ainsi dire, enveloppés par les schistes anciens, micacés et schisteux, ou par ceux que l'on désignait autrefois sous le nom de terrains de transition ou de grauwacke, et qui sont représentés le plus généralement aujourd'hui par les schistes cambrien, silurien et dévonien. Les couches de ces divers terrains, redressées sur les flancs de montagnes généralement arrondies, vont plonger au-dessous des couches secondaires et tertiaires du département de la Manche ou du bassin de la Seine.

L'ensemble de tous ces terrains, comme les granites eux-mêmes, sont traversés par une multitude de pointements porphyriques, amphiboliques, dioritiques ou quartzeux, alternant souvent avec les couches schisteuses, et qui forment quelquefois, au milieu d'elles, de puissants dykes redressant leurs crêtes au sommet des collines.

Parmi ces roches, on distingue les porphyres quartzifères, une roche amphibolique particulière connue des constructeurs sous le nom de kersanton, et de nombreux îlots de diorite granitoïde.

Les substances métalliques sont répandues au milieu de toutes ces roches, mais elles constituent plus généralement des gîtes répandus au sein des schistes et au voisinage des granites dont elles forment, pour ainsi dire, là comme ailleurs, ainsi que nous aurons lieu de le voir, une espèce d'auréole métallifère.

Mines. — Des mines étaient connues en Bretagne depuis les temps les plus reculés, et, d'après Gobet [2], elles furent exploitées sous les princes particuliers de ces provinces. Les étrangers, dit-il, les ont mieux connues que les Français. On a le souvenir de concessions accordées, dans le

1. Pitre Chevalier. *Bretagne ancienne et moderne.*
2. Anciens minéralogistes.

quinzième siècle, à des Anglais et à des Allemands. On voit encore dans plusieurs points les vestiges de travaux anciens et de fonderies, et vers 1630 toute cette contrée fut particulièrement explorée par deux mineurs intelligents, le baron et la baronne de Beausoleil, dans un moment où presque toutes les mines de la France, autres que les mines de fer, étaient dans l'abandon. Ils nous ont laissé une longue liste des gîtes métallifères qu'ils y avaient reconnus.

Nous devons indiquer cette liste, ne fût-ce que par respect pour ces malheureux mineurs qui, méconnus par Richelieu, périrent l'un à la Bastille et l'autre à Vincennes.

Les principaux d'entre eux sont les suivants; nous les indiquons tels qu'ils sont donnés par la baronne; et si, parmi eux, il s'en trouve qui probablement n'ont qu'une bien minime importance, on remarquera que les principales mines exploitées en Bretagne ont été fort bien indiquées[1] :

Évêché de Rennes.

Pontpéan : bonne mine de plomb, argent. *Aujourd'hui en exploitation* (1873).

Baulon : bonne mine d'argent (près de Rennes).

Saint-Aubin-du-Cormier : mine d'or (chemin de *Fougères*).

Évêché de Saint-Brieuc.

Chatelaudren : riche mine de plomb, argent. *Aujourd'hui en travail.*

Évêché de Saint-Malo.

Paroisse de *Paramé :* mine de plomb, argent.

Dinard, côte de Saint-Malo : mine de plomb.

Évêché de Vannes.

Beaugat, près Malestroit : mine de cuivre.

Passage *Saint-Armel :* mine de plomb.

Évêché de Quimper.

Paroisse du *Mur*, près Pontivy : très-riche mine de plomb, argent.

Paroisse de *Duve :* mine de cuivre.

Paroisse de *Kermia*, montagne de Souqui : mine d'argent.

Au *Ry*, proche *Douarnenez :* bords de la mer : riche mine or, argent, cuivre.

Paroisse de *Croson :* mine decuivre.

Paroisse de *Loccenan :* riche mine d'argent. Contient beaucoup d'or.

1. Mines de Bretagne. Nous donnons les noms tels qu'ils ont été écrits par la baronne; quelques-uns d'entre eux n'ont pas pu être retrouvés.

Aux *Tourelles*, montagne d'*Arès* : bonne mine de plomb.
Paroisse de *Pleiben* : mine d'argent.
Fratunecgin, près *Quimper* : mine de plomb, argent.
Près *Quimper* : mine d'étain.
Poullaouen : riche mine de plomb, argent.
Huelgoat. riche mine de plomb, argent.

Évêché de Saint-Pol-de-Léon

Paroisse de *Guisseny* : mine de plomb, argent.

Évêché de Tréguier.

La baronne cite plusieurs mines de plomb, argent et or, dans les paroisses de *Traberden*, de *Berlevenez*, de *Lanvelec*, de *Plougouver*, et dans la montagne de *Totlesdu*. C'est dans cette dernière que fut ouverte, durant le dix-huitième siècle, la mine de *Coetanos* (*Koet-an-noz*) qui, à cette époque, n'a donné que de faibles résultats.

Paroisse de *Louargat* : mine de plomb et or. Mont Menebrée.
— de *Plestin* : riche mine de plomb, argent.
— de *Ploumilliau* : mine de plomb.
— de *Treduder* : très-bonne et riche mine de cuivre, plomb et argent. Rameaux considérables.

Paroisse de *Pleslin* : mine d'argent.
— de *Guimaec* : mine de plomb.
Près de *Morlaix* : mine d'argent.
Paroisse de *Maelpestivien* : mine de plomb.
— de *Bourgbriac* : mine de cuivre.
Montagne de *Malabry* : mine de plomb et argent.
Paroisse de *Plouëzoc* : mine de plomb.

Aux indications qui précèdent nous ajouterons :

Manche. — La Chapelle-en-Juger. *Menildot* : mercure.
Surtainville et *Pierreville* : plomb et calamine.
Briquebec : cuivre (Hellot).

Côtes-du-Nord. — Mines de *Trémuson* : plomb et argent. Concession de 1865, sur 8,039 hectares.
Cambrac : plomb. *Quénécan* : cuivre.

Finistère. — Mines de *Poullaouen* : plomb et argent. Concession de 1729. *Roudouhir* et *Pont-Eon* : plomb.

Ille-et-Vilaine. — Mines de *Pontpéan* : plomb et argent. Concession de 1730 et 1829, sur 860 hectares.

Morbihan. — *La Villeder :* étain. Concession de 1856, 17,443 hectares. *Saint-Tudy* (*Isle-de-Grois*) : cuivre inexploré.

Baud, près *Saint-Maudé :* plomb. Concession de 1833, 292 hectares.

Questembert : étain. *Belle-Isle-en-Mer :* antimoine.

Loire-Inférieure. — *Piriac* et *Guérande :* étain. Concession de 1854, sur 1,018 hectares.

Crossac : plomb. Concession de 1824, sur 150 hectares.

Vendée. — *L'Essart*, près Saint-Hilaire de Talmont : plomb.

Bonpaire. Mine de la *Ramée*. Bonpaire : antimoine.

Dans l'état actuel des choses, on connaît un grand nombre de gisements métallifères en Bretagne ; mais bien peu d'entre eux ont été, dans le cours du dix-neuvième siècle, l'objet d'exploitations suivies.

Ces derniers sont particulièrement compris dans les concessions précédentes.

L'état des mines que nous venons de donner montre que la Bretagne renferme des mines de plomb et argent, d'étain et de cuivre.

Nous examinerons principalement les gîtes que renferment les diverses concessions.

Mines de Poullaouen et de Huelgoat : plomb et argent.

Historique. — Les travaux exécutés dans cette partie du département du Finistère remontent à la plus haute antiquité et avant l'invention de la poudre.

1578. Après un long abandon, ils furent repris par les princes de Bretagne et bientôt abandonnés encore ; on ne connaît aujourd'hui aucun document sur cette période de leur histoire.

1698. La mine de *Coetanos*, comprise dans la concession, était signalée dans les Mémoires des intendants.

1729. Ces mines furent concédées et travaillées à Poullaouen par des Anglais.

1732. Une société entreprit, sur un filon dit *la Vieille-Mine*, des travaux plus étendus avec une première mise de fonds de 30,000 livres.

1740 à 1756. On était parvenu à 30 mètres de profondeur, et les travaux furent abandonnés en 1756 à cause de l'affluence des eaux, de l'insuffisance des moyens d'épuisement et du peu de richesse des minerais.

1744. On découvrit, à une distance de 700 mètres environ du filon de la Vieille-Mine, un second filon vierge qui reçut le nom de *la Nouvelle-Mine.* Ce dernier filon a fourni des quantités considérables de minerai de plomb et d'argent, et a été pour ainsi dire exploité d'une manière continue jusqu'à 1865, c'est-à-dire pendant plus d'un siècle.



1751. Le directeur des travaux, l'ingénieur König, dont l'attention fut particulièrement réveillée par la présence, aux environs d'Huelgoat, de scories anciennes et de déblais, dans un lieu qui porte encore le nom de *Moulin-d'Argent*, y découvrit un filon particulièrement caractérisé par des terres rouges très-argentifères, analogues aux colorados du Mexique.

Ce filon, l'un des plus remarquables qui se soit vu en France, a été également travaillé, presque sans interruption, jusqu'à 1865.

1752 à 1762. L'entreprise des mines de Poullaouen produisit de grands bénéfices pendant cette période; mais à mesure que les travaux s'approfondissaient, les difficultés d'épuisement devenaient plus grandes, et, en 1780, les moyens dont on disposait étaient tellement insuffisants qu'on en était arrivé à ne pouvoir extraire de minerai que pendant trois ou quatre mois de l'année[1].

A cette époque, de grands travaux furent mis à exécution sous l'impulsion que leur donna un ingénieur allemand.

Ces travaux consistaient particulièrement, à Poullaouen, en machines hydrauliques alimentées par les eaux de la rivière d'Aulne, que l'on conduisit sur les roues par un canal de 22,000 mètres de longueur.

1816. Pour les mêmes motifs que dans le passé, l'entreprise, qui avait d'ailleurs eu à souffrir au moment de la Révolution, devint précaire. Encore une fois les moyens d'épuisement étaient insuffisants.

Vers cette époque, ces mines passèrent en d'autres mains qui purent faire les avances nécessaires pour accroître les moyens d'extraction.

En 1832, on établissait sur les mines de Huelgoat deux machines à colonne d'eau[2], que fit construire M. l'ingénieur Juncker; elles ont ajouté une puissance plus grande aux efforts du passé et permis d'étendre et de développer les travaux sur une plus grande échelle.

Cependant ces deux machines ne furent pas exactement construites d'après les plans de M. Juncker; des modifications y furent apportées dans un but d'économie, et elles n'ont pas présenté la force que cet éminent ingénieur en attendait.

Après avoir poursuivi les travaux en profondeur à plus de 300 mètres dans le principal filon de Huelgoat, à plus de 210 mètres au-dessous d'une galerie d'écoulement, sur celui de Poullaouen, et exécuté de nombreuses recherches, cette exploitation, dont l'origine se rapportait aux temps les plus éloignés, qui avait subi à diverses époques l'influence défavorable de l'imperfection des moyens, fut définitivement suspendue de nouveau au commencement de 1865.

Nous n'avons pas à rechercher ici les causes de cet abandon qui, sans doute, n'a pas été fait sans de mûres réflexions; mais il est à craindre que, de même que dans le passé, les moyens d'épuisement ne soient de-

1. Chanlaire, *Statistique de la France.*
2. *Annales des Mines*, 1835.

venus insuffisants, et que l'on n'ait pas voulu consacrer de nouveaux capitaux à l'emploi de forces plus puissantes que celles que l'on possédait.

D'un autre côté, les travaux, parvenus à une grande profondeur, avaient peut-être rencontré les extrémités de ces sortes d'amandes lenticulaires allongées, de forme irrégulière, d'où provenait la richesse des mines de Poullaouen, et l'on se trouvait dans la nécessité d'y faire de nouvelles recherches en présence d'une grande affluence d'eau.

Dès 1846, M. Pernolet prévoyait l'impossibilité de poursuivre dans la profondeur et avec utilité le filon de Poullaouen dont la richesse s'était notablement amoindrie [1], et à Huelgoat on avait perdu l'espoir de rencontrer, dans les parties basses de la mine, les terres argentifères qui avaient si puissamment contribué à la fortune de l'entreprise.

Cependant on peut remarquer que lorsque, vers 1848, MM. les ingénieurs Gruner et Rivot furent chargés par l'État d'étudier ces mines, ils ne partageaient pas entièrement, ainsi que nous le verrons plus loin, les opinions de M. Pernolet, et ils trouvaient avantageux de conserver l'une des exploitations les plus importantes de la France, pourvue d'un ensemble remarquable de canaux, d'étangs, de machines hydrauliques, qui faisait vivre une nombreuse population dans un pays d'ailleurs privé de toute autre industrie [2].

Si des travaux considérables ont été exécutés dans ces localités, on peut dire que ces travaux ont été presque entièrement concentrés sur deux principaux filons, et ceux que l'on a poursuivis depuis 1848 n'ont probablement enseigné que bien peu de chose de plus que ce que l'on savait alors.

Enfin, si, dans ces dernières années, des filons nouveaux ont été reconnus, il est permis de croire qu'on les a abandonnés après y avoir exécuté une certaine étendue de travaux d'exploration, mais avant que l'on ait réellement pu apprécier la véritable valeur de chacun d'eux.

On peut donc croire que le dernier mot de la concession de Poullaouen n'est pas dit, et c'est pour cette raison que nous donnerons les détails suivants sur les filons qu'on y connaît.

Dans tous les cas, ces détails, quelque concis qu'ils soient, offriront un certain intérêt pratique. Ils donneront aussi une idée des travaux qui furent exécutés pendant plus de cent ans, avec une remarquable persévérance, et permettront de reconnaître une fois de plus que la France n'est pas, ainsi qu'on l'a cru, dépourvue de substances métalliques.

Concession de Poullaouen. — Cette concession s'étend à l'ouest de Callac et au nord de Carhaix; elle peut être représentée par un parallélogramme

1. *Annales des Mines*, Pernolet, 1846.
2. Mémoire inédit.

de 21 kilomètres environ de l'est à l'ouest et de 6 kilomètres de largeur du sud au nord, et d'une étendue superficielle de plus de 12,500 hectares.

Conditions géologiques. — Elle est, pour ainsi dire, encadrée entre plusieurs massifs granitiques, et elle est bordée au nord, sur toute sa longueur, par les principales masses dioritiques de la Bretagne.

Tout l'intérieur de la concession, formé surtout de grauwacke, est criblé d'îlots, s'étendant généralement de l'est à l'ouest, ou de roches qui semblent appartenir aux diorites, plus fréquemment encore à des eurites ou à des petrosilex passant aux porphyres quartzifères.

On y distingue trois groupes principaux de filons, qui sont :

1° Le groupe de Huelgoat;
2° Le groupe de Poullaouen;
3° Le groupe de Carnoët et Plusquellec.

Groupe de Poullaouen. — On connaît, dans le voisinage immédiat de l'usine actuelle de Poullaouen :

1° Le filon de la *Vieille-Mine.* Direction : E. 14 à 20 N. Inclinaison : 61° au sud;

2° Le filon de *Laboulaye.* Direction : E. 14 à 20 N. Inclinaison : 61° au sud;

3° Le filon *Saint-Charles.* Direction : N. 20 E. Inclinaison : 58° à l'est;

4° Le filon *principal* ou filon de la *Nouvelle-Mine.* Direction : N.-S. Inclinaison : 54° à l'est;

5° Le filon *Pape.*

1° *Filon de la Vieille-Mine.* — Ce filon, sur lequel ont été ouverts les premiers travaux dans le cours du siècle dernier, est encaissé dans les schistes de la grauwacke, comme tous ceux du groupe de Poullaouen.

Allure assez régulière.

Gangue : roche schisteuse noire et veines quartzeuses irrégulières peu nombreuses.

Salbandes irrégulières et n'existant que par places.

Puissance : varie de 1 à 2 mètres.

Minerai : composé de galène, accompagnée d'un peu de blende et d'un peu de pyrite de fer. Sa richesse n'était que de 2 à 3 dix-millièmes d'argent. Veinules peu puissantes.

Les premiers travaux y furent abandonnés en 1756, au moment où ceux de la Nouvelle-Mine produisaient de très-beaux résultats. Repris plus tard, près du croisement avec le filon principal, ils n'ont fait connaître qu'une colonne de minerai de 30 mètres de largeur et une grande dissémination dans les autres parties.

Ces travaux ont atteint la profondeur de 80 mètres au-dessous de la surface.

2° *Filon de Laboulaye.* — Parallèle au précédent. N'a donné lieu à aucune exploitation indépendante.

On y a trouvé un tronçon, peu étendu en profondeur, qui a fourni jusqu'à 2 mètres de puissance de galène.

Ces deux filons avaient présenté, dit M. Pernollet, un caractère de stérilité qui avait fait naître depuis longtemps, à Poullaouen, une prévention très-prononcée contre les gisements courant dans la direction E.-O. ou dans ses environs.

Filon Saint-Charles. — Il est situé à l'ouest du filon principal de Poullaouen ; il a été rencontré par la galerie d'écoulement dont l'ouverture se présente au-dessous de l'usine. On l'a suivi sur environ 300 mètres en direction.

Puissance : de 1 mètre à $1^{m},50$.

Gangue : roche schisteuse presque noire, traversée par des veines irrégulières de quartz blanc opaque.

Minerai : en veines peu puissantes, peu continues, en mouches disséminées dans la roche. Il est particulièrement composé de galène contenant 20 à 30 grammes d'argent aux 100 kilos, et un peu de blende.

On n'a exploité dans ce filon qu'une petite colonne dans laquelle la puissance réduite de minerai pouvait aller à 30 centimètres, mais qui fut bientôt épuisée.

Filon principal de Poullaouen ou filon de la *Nouvelle-Mine.* — Ce filon, reconnu en 1744, a été travaillé d'une manière continue jusqu'en 1865, mais en traversant des phases diverses de fortune et de succès, ainsi que nous l'avons fait pressentir plus haut.

Affleurements. — Leurs caractères sont souvent obscurs et, là où ils apparaissent, ils se présentent sous la forme de colorations ferrugineuses qui teignent des roches quartzeuses alignées dans le sens de la direction.

Gangue et remplissage. — Le filon est rempli par une roche argileuse noire, analogue à la grauwacke encaissante, traversée presque dans tous les sens, mais principalement dans le sens de la direction, par des veines irrégulières, peu continues et peu nombreuses, de quartz blanc semi-opaque.

Dans quelques parties, le quartz est assez abondant et le filon se détache assez nettement des roches encaissantes ; quand il devient moins abondant, le minerai tend à disparaître et le filon devient très-difficile à suivre.

Enfin, ce filon est habituellement caractérisé par des veines multiples

de quartz, d'autant plus nombreuses et plus développées que le minerai est plus abondant.

Puissance. — Dans presque toute l'étendue explorée du filon règnent deux branches désignées sous le nom de veine du toit et veine du mur; leur puissance réelle, difficile à mesurer en raison de l'absence générale de salbandes, paraît varier ordinairement de 1 à 2 mètres; parfois le quartz pénètre dans la roche et le filon semble avoir une puissance de 5 à 6 mètres.

Salbandes : manquent généralement.

Allure générale et étendue. — Ce filon a été reconnu souterrainement, sur une longueur d'environ 1,400 mètres, dans le sens de la direction; on peut le considérer comme formé de sept tronçons de directions différentes, et rejetés quelquefois jusqu'à plus de 20 mètres de distance.

La direction générale est N.-S., et c'est cette même direction dans plusieurs de ces tronçons qui paraît correspondre à la plus grande richesse.

Minerai. — Il consistait en galène à facettes mélangée d'une proportion variable de blende, et traversée par des feuillets de pyrite de fer.

La galène se présentait ordinairement en veines assez puissantes, et dans plusieurs parties de la mine on a eu jusqu'à 50 centimètres et même 1 mètre de galène presque entièrement pure. Le plus souvent l'épaisseur de la galène variait de 1 à 8 ou 10 centimètres, et le minerai se répandait dans la roche du filon en veinules plus ou moins nombreuses, formant des ramifications irrégulières.

Le minerai était peu argentifère et, préparé pour la fusion, il ne contenait pas plus de 20 à 30 grammes d'argent aux 100 kilos.

Disposition du minerai. — L'étude des travaux montre que le minerai paraissait concentré dans certaines régions et former des colonnes irrégulières dont la continuité en profondeur pouvait inspirer des doutes.

Il y avait encore de beau minerai au fond de l'un des puits, dit puits Sainte-Barbe[1], au moment de l'abandon en 1865; mais il ne régnait que sur un espace très-restreint. Il paraissait exister à la rencontre de deux principales veines exploitées plus haut. A cette profondeur, le filon était bien caractérisé, mais peu ouvert, très-quartzeux, très-dur, ainsi que la roche encaissante.

D'après M. Pernolet, l'extension des travaux avait fait reconnaître une surface de filon de 1,400 mètres sur 210, soit 294,000 mètres carrés, sur lesquels 62,100 seulement étaient considérés comme exploitables, c'est-à-dire un peu moins du quart de l'étendue totale. On voit donc que les parties métallifères étaient séparées par de grands espaces stériles.

1. Voir les plans de M. Pernolet, *Annales des Mines*, 1846.

Filon Pape. — En 1850, on reconnut, à la distance de 150 à 200 mètres du filon de Poullaouen, un nouveau filon qui paraît n'en être que le prolongement, quoique sa direction fasse avec celui-ci un angle assez prononcé et qu'il soit séparé des derniers travaux par un intervalle de terrains dans lesquels les caractères filoniens avaient disparu.

Une machine à vapeur de 36 chevaux y fut placée, et des travaux de reconnaissance ou de fonçage y furent exécutés. On a reconnu la crête d'un massif peu étendu; on l'a exploité jusqu'à 25 ou 30 mètres de profondeur; à la profondeur de 60 mètres au-dessous de la galerie d'écoulement, les caractères du filon s'étaient modifiés et le minerai avait presque entièrement disparu. On n'a pas, croyons-nous, cherché à reconnaître s'il existait, dans ce filon, de nouveaux dépôts à des profondeurs plus grandes.

Groupe de Huelgoat. — Il se compose essentiellement :

D'un filon stérile, dit filon de *Camblan*, reconnu sur 600 mètres de longueur, et du filon principal, très-anciennement connu, particulièrement caractérisé par la présence de terres argentifères.

Filon principal. — Ce filon, qui a été jusqu'à 1865 l'objet de travaux très-étendus, est situé à 3 ou 400 mètres à l'est du granite.

Dès 1846, quand M. Pernolet en publiait la description, il était déjà reconnu sur une longueur de 1,100 mètres et sur une profondeur de plus de 300, et, autant que nous pouvons le croire, les travaux postérieurs n'ont rien ajouté à ce que l'on savait alors.

Affleurement. — Ce filon affleure au jour par des terres rouges qu'on peut suivre sur une assez grande longueur et dont la richesse en argent, vers le sud de l'un des puits, le puits de Poullaba, semble presque nulle, tandis que vers le nord la teneur en argent a dépassé 500 grammes aux 100 kilos.

Remplissage et gangue. — Le filon est composé d'une roche argileuse noire, assez analogue aux schistes encaissants, mais ne présentant pas de schistosité. Cette roche est traversée par des veines de quartz plus ou moins nombreuses, affectant souvent le parallélisme aux parois du filon.

Dans ce filon, comme dans les filons productifs de la Bretagne, le quartz est blanc sans être laiteux. Dans les parties stériles il prend l'éclat nacré; il a généralement une teinte jaunâtre, translucide, sans éclat, sans brillant; il est gras, à cassure plus ou moins conchoïdale ou esquilleuse; il empâte souvent des fragments des roches encaissantes, et porte parfois de nombreuses empreintes de cristaux de chaux carbonatée de différentes grosseurs.

La chaux carbonatée ne se présente dans le filon que là où il traverse les schistes à laumonite.

Ce filon, qui dans son ensemble a une direction N. 7 E., se compose de cinq tronçons dont la direction de chacun diffère de 20 à 30° avec celle du tronçon contigu.

D'après M. Pernolet, ces tronçons semblent correspondre à divers terrains traversés par le filon, qui sont :

1° Terrain schisteux, laumonitifère, maclifère et à empreintes de spirifères;

2° Région de roche feldspathique décomposée, avec lambeaux de schistes intercalés; porphyres quartzifères et poudingues à pâte argileuse, composés de galets de grès et de schistes;

3° Schistes et grauwackes en grande partie modifiés, et roche verte probablement amphibolique, ayant tantôt l'apparence d'une roche éruptive et tantôt celle de schistes modifiés;

4° Schistes noirs carburés ayant parfois l'apparence de schistes ardoisiers

5° Région de grauwacke à gros grains et à bancs épais, conservant ses caractères sur une puissance de plus de 1,500 mètres.

Puissance. — Ce filon a été généralement exploité sur une puissance de $1^m,50$, en laissant au toit et au mur une croûte de quartz stérile plus épaisse souvent que la bande dans laquelle le minerai était renfermé; mais, dans son ensemble, on peut le considérer comme ayant une puissance de 1 à 4 mètres, et quelquefois davantage dans des renflements.

En quelques points et particulièrement vers le nord, dans la région supérieure, le filon se divisait en plusieurs branches. On pensait aussi que, de ce côté, il se terminait en patte d'oie; mais rien ne semble en réalité confirmer cette opinion.

Minerai. — On distinguait dans ce filon trois espèces de minerai : le minerai d'argent, la galène argentifère et la blende, sans parler des minerais accidentels, tels que les carbonates, les sulfates et les phosphates de plomb, rencontrés dans plusieurs parties de la mine.

La *galène argentifère* était ordinairement grenue et formait des veines assez irrégulières d'une puissance variable. Elle était disséminée dans la masse du filon en mouches plus ou moins nombreuses. En plusieurs points, et notamment dans les profondeurs de la mine, la galène était comme enveloppée par de la pyrite de fer, ou traversée par de minces feuillets de cette substance. Sa teneur était de 60 pour 100 en plomb et 120 grammes argent aux 100 kilos.

Le *minerai d'argent* se composait soit de terres ferrugineuses, soit d'hydrosilicate d'alumine blanc ou verdâtre, contenant de l'argent natif ou de chlorobromures d'argent. On a trouvé aussi des veines minces d'une matière métallique noirâtre altérée, souvent très-riche en argent, connue sous le nom de terres noires. Cette matière peut être, dit M. Grüner, une combinaison définie d'argent avec des sulfures de plomb, d'antimoine

et de cuivre. La teneur en argent des terres a été très-variable, mais leur teneur moyenne était de 200 grammes aux 100 kilos.

La *blende* se montrait en veines peu puissantes, et principalement aux extrémités des régions riches en galène et surtout vers le sud du filon.

On peut citer encore la pyrite cuivreuse comme formant des mouches dans quelques parties quartzeuses du filon.

Disposition du minerai. — Ces divers minerais ne sont pas répandus dans toute l'étendue du filon. La galène se montre dans une région, en colonne inclinée vers le sud et présentant fréquemment des intervalles stériles. Elle ne s'élève pas jusqu'au jour, et ce n'est que vers le nord qu'on l'a rencontrée à peu de distance de la surface.

Le minerai d'argent est, en général, supérieur à la galène; il paraît occuper les parties supérieures du gisement, mais en quelques points il est descendu jusqu'à plus de 100 mètres au-dessous de la surface du sol.

En 1846, M. Pernolet estimait que le filon de Huelgoat, reconnu alors sur 1,000 mètres en direction et 300 mètres en profondeur, soit sur 300,000 mètres carrés, ne présentait que 19,120 mètres carrés de minerais argentifères exploitables et 91,580 mètres carrés de minerai de plomb argentifère.

Travaux. — Ce filon a été exploré ou exploité, ainsi que nous venons de le voir, sur une grande surface; 13 niveaux de galeries y ont été établis.

En 1865, au moment de la suspension des travaux, on était parvenu à 310 mètres au-dessous du jour.

A ce moment, ce filon avait singulièrement diminué de valeur dans la profondeur. Au-dessous du 12e niveau, non-seulement l'étendue en direction des colonnes métallifères était réduite à peu de chose, mais le minerai lui-même, d'après les renseignements qui m'ont été fournis, était peu abondant. Quant au minerai d'argent, il n'était pas descendu au delà de 70 à 80 mètres au-dessous de la galerie d'écoulement.

Une partie des travaux de Huelgoat est située au sud d'une faille, dite faille de Poullaba, qui avait été reconnue et traversée dès 1816. A 200 mètres environ au delà de cette faille, le filon, abandonnant les porphyres et les roches amphiboliques, est entré dans une région de grauwackes et de schistes. On a jugé que cette nouvelle situation semblait avoir exercé une influence très-défavorable sur sa puissance productrice, et dans les travaux peut-être insuffisants pour l'exploration de cette partie, il n'a plus présenté que de petits massifs d'une faible importance.

Des recherches assez nombreuses ont été faites aussi vers le nord où le filon paraissait interrompu par un certain nombre de failles, et il semble qu'il s'arrête au schiste noir laumonitifère qui sépare les terrains productifs du granite situé, en ce point, à une distance d'environ 1 kilomètre.

Ces détails semblent indiquer qu'il y a désormais bien peu d'espoir pour la reprise de ces mines, surtout après les quelques années d'abandon qui viennent de s'écouler; mais nous devons rappeler qu'au moment où MM. Grüner et Rivot étudiaient ces exploitations au point de vue de leur retour dans les mains de l'État, les travaux d'avancement, soit dans la direction, soit dans la profondeur, étaient, à bien peu de chose près, ce qu'ils pouvaient être en 1865, et les raisonnements faits à cette époque, relativement à l'avenir de ces mines, sont encore aujourd'hui en grande partie applicables.

Relativement au filon de Poullaouen, M. Grüner s'exprimait ainsi dans le Mémoire inédit où nous avons recueilli beaucoup des renseignements précédents :

« L'appauvrissement du filon en profondeur peut fort bien n'être qu'un « accident, un amincissement local auquel succédera un nouveau ren- « flement.

« Si l'on considère la faible profondeur à laquelle s'arrêtent les tra- « vaux (170 à 200 mètres), tandis que tant d'autres filons, même celui « de Huelgoat, sont métallifères sur des hauteurs bien plus considé- « rables, on est en droit d'admettre que le filon de Poullaouen puisse « renfermer encore quelque colonne métallifère et qu'il serait conve- « nable d'y pousser des recherches sérieuses. »

« L'existence du minerai dans le fond de la mine de Huelgoat, opposée « à la rareté du minerai à Poullaouen (à environ 100 mètres plus haut), « est en soi une circonstance d'une faible importance quand on consi- « dère que le minerai existe généralement dans les filons sous forme « d'amendes ou de lentilles plus ou moins indépendantes, et il n'est pas « probable qu'à Poullaouen les chances de rencontrer de nouvelles « amandes dans la profondeur soient moins nombreuses qu'à Huelgoat. »

Ces observations si rationnelles n'auront peut-être qu'une bien faible portée dans les circonstances présentes, relativement aux deux filons de la concession de Poullaouen qui, seuls, pour ainsi dire, ont été travaillés d'une manière suivie depuis la moitié du siècle dernier; mais elles en auront peut-être une beaucoup plus grande à l'égard des autres filons de la concession dont quelques-uns ne paraissent avoir été que bien peu exploités, ainsi que nous allons le voir, et elles rendront probablement bien regrettable l'abandon de mines déjà pourvues de la majeure partie des forces nécessaires pour leur développement dans l'avenir.

Groupe de Carnoët et Plusquellec. — Il est situé presque à la limite orientale de la concession, et il comprend plusieurs filons qui, dans des temps très-anciens ou vers des époques plus récentes, ont été l'objet de travaux plus ou moins importants.

Ils sont situés dans les schistes argileux traversés par des éruptions porphyriques.

Filon de Plusquellec. — Anciens travaux qui paraissent très-étendus. Commencés en 1739, ils furent abandonnés en 1745, repris en 1755 et délaissés de nouveau en 1763 à cause de l'abondance des eaux et, dit-on, de la rareté du minerai.

Quelques tentatives de reprise y furent faites encore en 1779, mais sans résultats.

Les travaux de 1755 ont suivi le filon sur plus de 400 mètres et ont atteint la profondeur de 65 mètres. Ils ont reconnu, paraît-il, des veines de 2 à 10 et 15 centimètres d'épaisseur de galène, mais fort irrégulières. Une roue hydraulique y avait été installée pour l'épuisement des eaux.

Direction : N.-S.

Minerai. — Il consistait en galène contenant 70 grammes d'argent aux 100 kilos, et située dans une gangue quartzeuse.

Filon de Carnoët. — En 1698, l'intendant de Bretagne écrivait que la mine de Carnoët était la seule que l'on connût dans ces contrées. On y travaillait alors, mais avec de faibles moyens [1]. Les anciennes haldes qui y existent montrent qu'on y trouvait des minerais de galène et de cuivre gris très-argentifères. Les anciens documents enseignent que les travaux y furent repris en 1707, poursuivis par intervalles dans le cours du siècle dernier et définitivement abandonnés en 1789. On y avait reconnu six filons ou veines différentes, dont un seul, dirigé sur h. 3, de 1 mètre à 1^m,50 de puissance, fut exploité.

Les travaux avaient atteint la profondeur de 122 mètres et avaient mis à nu trois colonnes de galène, de largeur et de puissance variables. En 1741, la Compagnie de Poullaouen en retirait 123,169 livres de plomb.

La première colonne avait une quinzaine de mètres de largeur moyenne, et le minerai avait une puissance de 2 à 22 centimètres. A 66 mètres de profondeur, il diminua de puissance et d'étendue et avait presque disparu à 100 mètres.

La seconde colonne, reconnue à 35 mètres sous la galerie d'écoulement, a donné jusqu'à 12 centimètres de galène sur une longueur de 8 à 10 mètres. Le minerai était encore assez beau au fond des travaux lorsqu'ils furent abandonnés.

La troisième colonne a été suivie depuis la galerie d'écoulement jusqu'à la profondeur de 60 mètres, avec une puissance de 15 à 20 centimètres de minerai et une étendue de 15 à 20 mètres en direction. Une recherche faite à 120 mètres a reconnu deux veinules de galène de 4 à 6 centimètres, mais peu continue.

M. Grüner [2], à qui nous empruntons ces détails, ajoute que la mine a été définitivement abandonnée en partie à cause de l'abondance des eaux,

1. *Mémoires des intendants* (Boulainvillier).
2. *Mémoire inédit.*

mais principalement parce que les propriétaires n'espéraient pas rencontrer de plus riches colonnes de minerai et que celles exploitées n'avaient pu donner de bénéfices.

Quelques recherches ont encore été faites sur ce même gisement, dans ces dernières années, sans résultat.

Filons de Kerlast. — A peu de distance de Carnoët se montrent les traces de nombreuses excavations. Les anciens documents indiquent une longue galerie et cinq puits peu profonds, par lesquels on a reconnu des veines très-nombreuses, et se coupant mutuellement. Dans plusieurs on a rencontré des veines de galène très-riche en argent, contenant plus de 400 grammes aux 100 kilos, mais peu continues. Les travaux furent définitivement abandonnés en 1780. Depuis 1848, la Société de Poullaouen y fit de nouvelles tentatives comme à Carnoët.

Filons reconnus depuis 1850. — Vers 1850, on reconnut dans la concession de Poullaouen trois filons nouveaux qui paraissent présenter de remarquables caractères, et nous avons eu, pour ce qui les concerne, les renseignements suivants :

1° Filon de la Haye. — Parallèle au filon de Huelgoat.

On l'a suivi à une profondeur de 40 mètres par des galeries qui ont atteint un développement de 200 à 250 mètres.

Dans cette longueur on a presque toujours eu un filon rappelant beaucoup, par son aspect et son remplissage, le filon de Huelgoat dans ses parties de terres rouges argentifères. Des essais ont constamment accusé la présence de l'argent, et dans plusieurs zones on a suivi des veinules d'un véritable minerai d'argent tenant 200 à 500 grammes d'argent aux 100 kilos. Ce filon, comme celui de Huelgoat, se modifiait en passant d'un terrain dans un autre. En quittant la roche verte pour passer dans les schistes carburés, le remplissage rouge disparaissait et on avait une mine schisteuse et quartzeuse dans laquelle on a trouvé des rognons de galène avec pyrite de cuivre donnant du plomb d'œuvre à 3 1/2 millièmes.

2° Le filon parallèle. — A caractères bien tranchés, situé à 120 mètres à l'ouest du filon de Huelgoat. Même direction. A été exploré aux profondeurs de 100 et 180 mètres au-dessous du jour. Au moment de l'abandon, en 1865, on n'y avait pas trouvé de massif suffisamment exploitable, et on essayait de l'atteindre 40 mètres plus bas quand les travaux furent suspendus.

3° Filon de Saint-Huijean. — Filon parallèle au filon principal de Poullaouen, dont il est distant d'environ 1,500 mètres.

Il a donné presque sans interruption des traces de blende et de galène sur plus de 250 mètres, et n'a paru exploitable qu'en un seul point qui pouvait être la tête d'une colonne métallifère s'étendant dans la profon-

deur. L'abondance des eaux exigeait des moyens d'épuisement qui ne furent pas appliqués. Ce filon a présenté comme caractère remarquable, outre ses rapports intimes avec le filon principal de Poullaouen, une teneur en argent, de la blende et de la galène, plus élevée qu'en aucun des autres filons de la concession.

On rencontre encore dans la concession d'autres traces de filons qui se révèlent soit par des colorations ferrugineuses, soit par des affleurements quartzeux, et quelques anciens travaux, comme à Ty-ar-Gall; mais il est possible que ces derniers, qui consistent particulièrement en excavations informes, aient été exécutés pour l'extraction du minerai de fer.

Gîte de *Coat-an-Noz*[1]. — Arrondissement de Guingamp (Côtes-du-Nord). Fut exploité de 1766 à 1773. On y avait trouvé trois petites veines d'une direction peu constante, E. N. E.-O. S. O.

La galène qu'on en extrayait rendait de 0,0025 à 0,0075 d'argent.

Cette mine fut concédée à la Compagnie de Poullaouen en 1766.

Des recherches plus étendues y ont été faites postérieurement, mais sans résultat utile.

Filon cuivreux de Quénecan. — Ce filon traverse les grauwackes dans la direction E.-O., au milieu d'une contrée pénétrée de roches amphiboliques.

Des tentatives y furent faites en 1762, mais l'abondance des eaux et, ajoute M. de Fourcy, la pauvreté du gîte les firent abandonner.

La concession des mines de Poullaouen a produit d'assez grandes quantités de plomb et d'argent, extraites seulement, depuis le milieu du siècle dernier, de deux principaux filons.

Nous ignorons ce qui en a été extrait dans les temps passés, mais nous savons que, de 1806 à 1846, on en a extrait :

De Poullaouen, 26,058,563 kilos de galène;
De Huelgoat, 13,994,997 kilos de galène;
— 5,289,587 terres argentifères[2],
représentant ensemble une valeur de 19 à 20 millions;
Et, de 1847 à 1864[3], on en a retiré environ 8 millions,
en tout environ 28 millions, dans l'espace de 60 ans, sans compter le produit des schlamms qui n'ont pu être utilisés.

Si maintenant on se reporte aux chiffres qu'a donnés M. Pernolet, et que nous avons indiqués plus haut, pour exprimer la surface exploitable dans les deux filons, surface qui, dans l'ensemble, était de 172,800 mètres

1. *Cartes géologiques des Côtes-du-Nord et du Finistère*, par M. de Fourcy.
2. *Mémoire inédit* de MM. Gruner et Rivot.
3. Comptes rendus des ingénieurs des mines.

carrés, on voit que chaque mètre carré avait moyennement une valeur d'environ 160 à 170 francs.

Nous n'avons rien à ajouter à cet exposé, et ce que nous pourrions dire sortirait du cadre que nous nous sommes tracé ; mais nous ne pouvons nous empêcher de remarquer que l'entreprise de Poullaouen n'a été, pendant longtemps, l'une des entreprises de ce genre les plus importantes de la France que par suite de l'absence presque absolue d'entreprises analogues dans le cours de ce siècle ; et, peut-être, ces contrées auraient été plus activement travaillées si la concession avait été moins vaste, et si elle avait été divisée en plusieurs autres.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler une curieuse analyse faite sur une mine de fer aurifère, terreuse, brune, de Huelgoat, que nous rapportons sans autre observation, telle qu'on la trouve dans le livre de Gobet (*Anciens minéralogistes de France*, t. I, p. 333).

« Cette mine, d'après les expressions de l'auteur, tenait une *chaux de zinc et de cuivre*, soit blende et pyrite cuivreuse. Un quintal de cette mine torréfiée avec 2 quintaux de minium, 9 quintaux de flux noir et 25 livres de poudre de charbon, a donné un culot de plomb tenant 9 onces d'or et argent ; »

Soit 558 grammes environ aux 100 kilos.

L'or se trouvait dans la mine de fer dans la proportion de 2 onces au quintal ;

Soit environ 124 grammes aux 100 kilos.

Mines de Chatelaudren (Côtes-du-Nord) : plomb et argent. — Une exploitation importante existait dans les environs de *Chatelaudren*, dans le courant du siècle dernier ; de nombreux déblais en rappelaient le souvenir et des documents anciens faisaient connaître une partie de son histoire.

En 1784, leur production annuelle, selon Gobet, était de 2,200 quintaux de plomb et 1,100 marcs d'argent.

En 1790, cette exploitation fut suspendue, pour n'être reprise que longtemps après.

Historique[1]. — Les travaux des mines de Chatelaudren remontent, comme ceux qui se trouvent disséminés dans la Bretagne, à une époque très-éloignée. On sait que des Anglais de la suite de Jacques II, déchu du trône d'Angleterre, exilés sur la terre de France, y entreprirent, en 1707 et en 1711, des travaux qu'ils abandonnèrent bientôt pour prendre part à l'expédition d'Irlande.

Valmont de Bomare signalait la richesse des filons de Chatelaudren, et, peu de temps après, des travaux importants, qui consistaient en

1. *Description géologique des Côtes-du-Nord*, par de Fourcy, 1846.

puits, galeries, canaux, roues hydrauliques, fonderies, y furent exécutés par un nouveau concessionnaire. Ces travaux absorbèrent des sommes que l'on évalue à 1 million de livres; en 1781, une nouvelle Compagnie, à la tête de laquelle était Pierre de Mory, caissier général de l'ancienne Compagnie des Indes à Paris, fut constituée, et à cette époque l'entreprise paraissait entrer dans une voie prospère, quand la Révolution éclata.

Les gentilshommes qui composaient la Société se dispersèrent et les travaux furent définitivement suspendus en 1790.

Ces travaux, dont le souvenir se révélait seulement à la surface du sol par l'existence de nombreux tas de déblais, étaient oubliés depuis longtemps, quand, en 1862, les tranchées faites pour le chemin de fer de Bretagne mirent à découvert quatre filons de galène argentifère.

Une concession nouvelle fut demandée et accordée, et, peu de temps après, ces mines furent reprises par une Compagnie anglaise.

Cette Compagnie, formée d'abord au capital de 12,000 livres sterling, ou 300,000 francs, dépensa 375,000 francs. Un premier puits, qu'elle fonça dans des roches fort dures, absorba un tiers du capital; le reste ne put suffire au déblaiement des travaux anciens ou à l'installation des machines nécessaires à l'exploitation ou à l'épuisement, et bientôt après l'entreprise, qui réclamait un nouveau capital, fut arrêtée.

En 1872, elle paraît devoir être remise bientôt en activité.

Conditions géologiques. — D'après la carte géologique des Côtes-du-Nord, par M. de Fourcy, il n'y aurait dans cette région que deux roches dominantes, le granite au sud et au nord le schiste cambrien métamorphisé et rapproché du gneiss dans le voisinage du granite. Cet ingénieur signale en outre, dans la même région, un assez grand nombre de petits îlots dioritiques.

M. l'ingénieur Massieux, professeur de géologie à la Faculté de Rennes, distingue[1] dans cette région, comme dans la Bretagne en général, deux espèces de diorite : 1° une diorite en masse continue et à structure granitoïde, formée, dans les échantillons types, de feldspath généralement strié et d'amphibole noire; 2° une diorite compacte noire, ressemblant à un trapp dont les éléments sont généralement indiscernables, mais sont reconnaissables sur certains points.

Cette dernière diorite se distingue nettement de la première variété franchement granitoïde; elle se présente en filons bien délimités et encaissés tantôt dans le granite, tantôt dans la diorite granitoïde. Cette distinction, dit M. Massieux, est importante, car il n'est pas douteux, suivant lui, que les filons plombeux de la Bretagne ne soient, en général, en rapport plus ou moins direct avec la diorite compacte en filons.

1. *Note inédite* de M. Massieux.

Cette opinion semble se vérifier auprès de Rennes, à Pontpéan, ainsi que nous le verrons plus loin; mais, en général, les roches dioritiques paraissent avoir des rapports plus directs avec les minerais de cuivre.

Quoi qu'il en soit, les terrains compris dans la concession de Trémuson constituent généralement trois bandes s'étendant de l'est à l'ouest. La bande méridionale est formée d'un granite variable dans sa structure; la zone moyenne est formée de diorite granitoïde passant au kersantite, et la bande septentrionale est formée de schistes plus ou moins métamorphisés et passant souvent à un gneiss amphibolique.

Cet ensemble de terrains se trouve traversé par de nombreux filons de diorite compacte, d'une direction générale N. 10 O., et l'on en compte une centaine entre Saint-Brieuc et Chatelaudren.

De nombreuses veines de pegmatite, courant du N.-O. au S.-O., traversent encore ces mêmes terrains, et on peut signaler aussi, ainsi que l'a déjà fait M. de Fourcy, un petit massif porphyrique, près du château de Bily, vers l'extrémité occidentale de la concession.

Filons. — Les environs de Chatelaudren présentent 15 filons qui ont été plus ou moins travaillés dans le siècle dernier, dont un, le filon de Trégan, est situé en dehors de la concession actuelle de Trémuson.

Ces filons sont :

Le filon de *Ruebourgeois,* dirigé N. 13° O. dans le granite et diorite granitoïde.
— *Sénéchal*, dirigé N. 13° O. dans le granite et diorite granitoïde.
— *Sainte-Victoire*, dirigé dans le granite et diorite granitoïde.
— *Sainte-Marie*, dirigé N. 13° O. dans le granite et diorite granitoïde.
— *Maros*, dirigé N. 15° O. dans le granite et diorite granitoïde.
— *Boucaut*, dirigé dans le granite et diorite granitoïde.
— *La Chapelle-Saint-Jacques*, dirigé dans le granite et diorite granitoïde.
— *Plouvara*, dirigé N. 4° O. dans le granite et diorite granitoïde.
— *Seignaux*, dirigé N.-N.-O., inclinaison O., dans le granite et diorite granitoïde.
— *Sainte-Barbe*, granite et diorite granitoïde.
— *Trégan*, dirigé N.-S., inclinaison O., diorite granitoïde.
— *Ville-Ahlen*, dirigé N.-O., gneiss et schistes.
— *Trémuson*, dirigé N. 30° E., inclinaison O., gneiss et schistes.
— *des Boissières*, dirigé E.-O., inclinaison S., gneiss et schistes.

Trois filons furent aussi découverts en 1862 dans la tranchée du chemin de fer de Plerneuf.

Ces filons, dits *Filons de Plerneuf,* sont encaissés dans une diorite micacée décomposée à la surface et passant au kersantite.

Direction moyenne : N. 25 O.

Remplissage. — Ces filons, en général bien délimités, sont remplis par une roche argilo-quartzeuse, bariolée de rouge et de blanc, et en partie décomposée. C'est une roche toute spéciale, différente de la roche encaissante.

Elle est particulièrement formée de quartz compact, concrétionné et même opalin, de jaspe d'un rouge franc, et enfin d'une matière verte un peu écailleuse, peut-être amphibolique, assez analogue à celle qui constitue la roche verte de Huelgoat.

Minerai. — Il consiste en galène se montrant en veines massives de 3 à 22 centimètres d'épaisseur, dont la teneur métallique était, pour le filon n° 1 :

79 de plomb aux 100 kilos,
130 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb;

Et pour le filon n° 3 :

79 de plomb,
608 grammes d'argent.

Cette teneur élevée provient sans doute de la présence du sulfure d'argent que l'on rencontre en enduit noir recouvrant la galène.

Filon transversal. — Les travaux de recherche récents ont fait reconnaître la présence d'un croiseur, indiqué sous le nom de filon transversal. C'est lui qui a été le plus exploré.

Roche encaissante : diorite micacée.

Direction : O. 27 N.

Salbandes : nettes, souvent indiquées par une veine de terre blanche argileuse.

Minerai. — Il s'est présenté en lambeaux de galène isolés, dont la teneur était :

70 kilog. plomb aux 100 kilos minerai,
339 grammes argent aux 100 kilos plomb.

La tonne des différents minerais de Plerneuf a été vendue en Angleterre au prix de 954 francs.

Filon de Trémuson. — Les travaux les plus importants, exécutés dans ces derniers temps, ont été faits sur le filon de Trémuson.

Direction générale : N. 30 E.[1]; inclinaison à l'O. de 40 à 45°.

Roche encaissante : gneiss amphibolique.

Puissance : de 0,30 à 1 mètre et plus.

Salbandes : pas toujours nettes.

1. Massieux. *Note inédite.*

Remplissage. — Il est généralement rempli par des dépôts quartzeux, par des débris de la roche encaissante et par une roche filonienne à la fois verte et jaspée comme celle de Plerneuf.

Minerai : galène à petits grains, brillants, mélangée avec un peu de blende et de pyrite de cuivre.

Elle se présente le plus souvent en deux veines qui semblent devoir se confondre dans la profondeur, et dont la richesse peut être estimée en moyenne de 400 à 600 kilogrammes par mètre carré de surface du filon.

Cette galène est parfois aussi très-disséminée.

La teneur du minerai préparé a varié :

De 32 à 70 kilogrammes de plomb aux 100 kilos minerai,
Et 200 grammes d'argent aux 100 kilos minerai.

Ce minerai se vendait à Swansea au prix de 527 fr. la tonne.

Filon des Boissières. — Ce filon, dirigé E.-O., incliné au sud, paraît avoir une puissance considérable. De grands travaux y ont été exécutés anciennement ; il semble devoir recouper le filon de Trémuson. Non loin de cette dernière mine, en allant de Trémuson à Tremeloir, on retrouve les traces d'une ancienne excavation qui, découverte, a fait reconnaître une crête formée par une terre ferrugineuse renfermant une notable quantité de petits cristaux verts et très-nets de plomb phosphaté, comme on en rencontre souvent aux affleurements.

Filon de la Ville-Halen. — C'est l'un des filons les plus importants de la concession. D'énormes déblais anciens accusent l'étendue des travaux qui y furent exécutés anciennement.

Direction : N.-O. ; inclinaison à l'ouest.

Puissance : de 0,16 à 1,33.

On distinguait au mur une veine argileuse noire accompagnant toujours le minerai.

Minerai : galène mélangée de cuivre gris argentifère. La blende y devenait souvent abondante.

La teneur de la galène était :

De 55 pour 100 aux 100 kilos,
et 0,0015 argent.

M. de Fourcy ajoute qu'on y a reconnu des cuivres gris argentifères d'une teneur de 0,005.

Ce filon, ajoute-t-il, est sans contredit le plus riche de tous ceux qui ont été exploités.

Nous n'entrerons pas dans plus de détails sur ces mines, désormais concédées et sur lesquelles les travaux doivent être bientôt repris. Ce que nous avons dit suffit pour montrer tout l'intérêt qui s'attache à la

présence des substances métalliques dans ces localités, et pour faire ressortir le regret, déjà exprimé tant de fois, qu'on les ait laissées dans l'oubli pendant tant d'années.

Mine de Pontpéan (Ille-et-Vilaine). — La mine de Pontpéan est l'une des plus remarquables qu'ait possédées la France, et elle est en même temps l'un des exemples les plus saillants des perturbations que peut apporter dans une exploitation le mauvais agencement des moyens d'épuisement.

Elle a été particulièrement décrite par M. l'ingénieur Fayn[1], dans la *Revue universelle de Belgique*. Nous y puisons une partie des renseignements qui vont suivre.

Historique. — Cette mine, située à 10 kilomètres au sud de la ville de Rennes, a été l'objet de travaux anciens très-développés, particulièrement pendant le dix-huitième siècle.

Mal travaillée de 1731 à 1740, elle fut vendue par autorité de justice en 1745. Rachetée en 1746 pour la somme de 40,300 livres, elle donna lieu à une avance de fonds d'environ 800,000 livres, et fut abandonnée en 1765.

Acquise, à la même époque, par la Compagnie de Poullaouen, pour la somme de 195,000 livres, on y commença de nouveaux travaux avec une somme de 40,000 livres.

En 1784, la Compagnie vota une nouvelle mise de fonds de 240,000 livres.

D'après Duhamel, la Société couvrit à peu près ses frais; mais néanmoins, en 1788, on mit en délibération l'abandon de la mine, pendant que M. Broëlmann, directeur de la mine de Poullaouen, qui avait donné à cette exploitation une vive impulsion, proposait de faire en 18 mois une dépense de 142,000 livres pour améliorer les moyens d'épuisement.

Malgré l'imperfection des moyens d'exhaure, on produisit une assez grande quantité de minerai jusqu'en 1794, et, à cette époque, la mine fut définitivement abandonnée après des pertes importantes. On en avait extrait, de 1789 à 1794, 3,667 tonnes de minerai.

Les motifs de l'abandon sont attribués à :

1° La mauvaise situation financière;

2° L'obligation de livrer le plomb produit aux arsenaux de la marine à un prix fixé par le gouvernement, et payé en assignats;

3° La nécessité d'établir de nouvelles machines d'épuisement, les anciennes machines ayant été reconnues depuis longtemps insuffisantes;

4° La crainte que les massifs reconnus ne se continuassent pas en profondeur.

La mine resta ainsi abandonnée jusque vers 1841, époque à laquelle

1. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1863.

elle fut reprise par un premier exploitant anglais, qui sut en tirer un grand parti, et, en 1855, la Société actuelle fut constituée pour une durée de 32 ans.

Pendant cinquante ans environ, de 1730 à 1794, on avait uniquement exploité le minerai de plomb, qui contenait 65 pour 100 de plomb, 469 à 547 grammes d'argent à la tonne de minerai, et dont on retirait 496 à 520 kilos de plomb et 430 à 510 grammes d'argent.

Vers 1844, MM. Malaguti et Durocher[1] reconnurent que les blendes de Pontpéan étaient plus argentifères que les galènes, et qu'elles avaient une teneur de 1,400 à 2,500 grammes d'argent par tonne.

On sut alors profiter de ces nouvelles découvertes; on recueillit la blende laissée par les mineurs du dix-huitième siècle dans leûrs travaux ou dans les déblais, et on l'expédia en Angleterre où elle était avantageusement vendue.

Depuis ce moment, quelques-uns des puits anciens ont été déblayés, les travaux se sont développés sur une longueur horizontale de plus de 1,200 mètres, et l'on est parvenu en quelques points à une profondeur d'environ 200 mètres, qui dépassait sensiblement le point le plus bas des travaux abandonnés en 1794.

L'épuisement des eaux a été, dans tous les temps de l'exploitation du filon de Pontpéan, un obstacle considérable pour le succès de l'entreprise; mais cet obstacle provenait plus de l'insuffisance des moyens adoptés que de la quantité d'eau à extraire.

En 1842, M. l'ingénieur Lorieux écrivait :

« L'insuffisance des moyens d'épuisement a été la cause qui a nui le plus à la prospérité de l'ancien établissement de Pontpéan. A diverses époques, on s'était occupé des moyens d'y remédier, mais on ne l'a jamais fait d'une manière complète, et dans les dernières années, dans les mois où les eaux motrices étaient peu abondantes, on était contraint de laisser inonder les travaux inférieurs et de se retirer dans les parties les plus élevées. »

Après 1852, les mêmes difficultés se produisirent par suite d'un mauvais choix et d'une mauvaise installation des machines d'épuisement.

Ceci montre combien il est important, dès le début d'une entreprise de ce genre, d'apporter le plus grand soin dans l'application des machines dont on doit se servir, et de ne pas y chercher des économies qui pourront être plus tard la cause de graves embarras et de grandes dépenses.

Aujourd'hui, en 1873, les conditions de la mine de Pontpéan se sont essentiellement modifiées sous tous les rapports. De puissantes machines d'épuisement, qu'on se dispose d'améliorer encore, ont été installées; une surface importante de filon exploitable a été aménagée; les recher-

1. *Annales des Mines*, t. XVII, 1850. *De l'Association de l'argent...*

ches sont poursuivies; on a reconnu un enrichissement de la galène en argent dans la profondeur, et les prix du plomb sont devenus plus rémunérateurs par suite de l'élévation du cours des métaux.

Filon de Pontpéan. — Lorsqu'on examine la carte géologique d'Ille-et-Vilaine dressée par M. l'ingénieur Massieux, on voit le filon de Pontpéan tracé au milieu de terrains d'alluvions. Son affleurement se trouvait, en effet, noyé à la surface du sol sous une couche peu épaisse de ces alluvions recouvrant le terrain silurien, qui acquiert un très-grand développement aux environs de Rennes. Il fut, dit-on, découvert en 1728 par des potiers qui tiraient de l'argile dans ses environs.

Les travaux et les études ultérieures y ont fait reconnaître l'existence d'un filon puissant et d'une remarquable régularité. « C'est une immense cassure, dit Duhamel[1], connue sur une lieue de longueur, dans laquelle des corps étrangers venant de la surface ont pu pénétrer avant que son remplissage ne fût complétement opéré, et on y a trouvé un arbre tout entier, presque entièrement carbonisé, à plus de 200 pieds de profondeur. »

Direction : à peu près N.-S. magnétique.

Inclinaison : 75° à l'est.

Puissance. — Elle est moyennement de 10 mètres dans le schiste. Elle atteint quelquefois 15 mètres et s'est élevée, dans certains renflements, jusqu'à 24 mètres.

Affleurements. — Près d'eux, la masse minérale est noyée dans une sorte d'argile bleuâtre contenant des fragments de schiste et de quartz, et elle s'y présente souvent disséminée en petits rognons ou en lits. A une certaine profondeur, elle apparaît avec netteté.

Remplissage. — On peut considérer le filon de Pontpéan comme rempli par une roche dioritique affectant la forme d'un dyke, et se présentant au toit et au mur de la fracture avec des épaisseurs diverses.

C'est entre ces deux masses que se trouve le filon métallifère proprement dit, consistant en terres traversées par des veines de quartz, en argiles bolaires ou en glaise dioritique verdâtre. Ces substances diverses, ainsi que la galène et la blende, y affectent des formes zonées de manière à donner au filon la structure rubannée.

Disposition du minerai. — La galène et la blende, qui constituent les deux minerais principaux de cette mine, constituent principalement

1. *Géométrie souterraine.*

trois vastes lentilles allongées, peu inclinées à l'horizon, et dont l'ensemble se développe sur une étendue d'environ 1,300 mètres.

La première lentille, qui fut particulièrement l'objet de travaux anciens, avait environ 600 mètres dans le sens de son inclinaison; elle allait jusqu'au jour et ne descendait pas au-dessous de 110 mètres de profondeur.

Une seconde apparaît à environ 80 mètres au-dessous de la surface. Sa longueur connue jusqu'à présent est d'un peu plus de 600 mètres.

Une troisième, qui naissait à environ 120 mètres au-dessous du sol, a été poursuivie par les travaux récents jusqu'à une profondeur de plus de 80 mètres, et elle s'étend plus bas sans qu'on connaisse encore ses limites inférieures, qui appartiennent naturellement aux travaux de l'avenir.

Dans ces amas divers, la galène se montre principalement au mur du gîte, sous la forme d'une zone rubannée, et au centre, sous l'aspect de rognons ou de plaquettes isolées. Vers le toit, ce sont des minerais mélangés en rubans distincts ou en magmas enchevêtrés. Au mur, on rencontre souvent une salbande d'argile grise, d'une épaisseur de 0,15 à 0,30, qui fait entièrement défaut au toit.

Dans certains points, au mur, on a trouvé des épaisseurs de galène massive de 0,20 à 1 mètre.

La blende forme des zones parallèles aux zones de galène, ou associées ou mélangées à cette dernière. Cependant la blende paraît abonder davantage là où il y a peu ou point de galène.

La diorite est également souvent pénétrée par les émanations métallifères, et il semble que la richesse du filon soit en relation directe avec la manière d'être de cette roche.

Le filon est riche lorsqu'elle est désagrégée et pourrie; il est pauvre quand elle est dure et compacte.

Minerai. — Ainsi que nous l'avons dit, les deux minerais qui forment l'objet de l'exploitation de Pontpéan sont la galène et la blende; tous deux sont encore associés à la pyrite de fer.

D'après les observations de M. Fayn, ces trois natures de substances paraissent être venues successivement : la galène d'abord, puis la blende, puis la pyrite; car, dans les recouvrements que l'on observe entre ces diverses substances, on ne voit jamais la galène recouvrir la blende ou la pyrite, tandis qu'au contraire la blende recouvre toujours la galène, et la pyrite la blende. J'ignore si ces faits montrent que ces trois substances aient été introduites dans le filon à des époques diverses, mais ils affirment qu'elles y ont été déposées successivement et dans un certain ordre.

La galène de Pontpéan n'a pas toujours montré une teneur en argen régulière, aux différents niveaux ni dans les mêmes parties du gîte, et on

était arrivé à conclure que cette teneur allait en s'abaissant avec l'accroissement de la profondeur. Des faits nouveaux viennent modifier ces idées et montrer combien il serait dangereux de se hâter d'établir des lois qui pourraient arrêter tous les progrès et notablement nuire au développement d'une entreprise. Ainsi, on avait remarqué que la troisième colonne, la plus basse, naissant à plus de 100 mètres au-dessous de la surface, montrait dans sa partie supérieure des galènes à 320 grammes d'argent par 1,000 kilos de minerai, tandis que dans les parties inférieures elle n'en tenait plus que 250.

Dans une autre partie de la mine, on avait vu que les minerais extraits au-dessous des travaux anciens ne tenaient plus que 230 grammes d'argent, tandis que dans ces derniers travaux les galènes avaient produit de 469 à 547 grammes.

Il semblait donc réellement que l'on devait constater un appauvrissement constant en descendant dans la profondeur. Cette sorte de loi que l'on était tenté d'établir se trouve singulièrement modifiée par les découvertes faites dans le cours de l'année 1872, qui ont montré aux plus grandes profondeurs, sous le 20e niveau, des minerais dont la teneur, ayant crû progressivement, était parvenue de 250 à 855 grammes d'argent, c'est-à-dire à une teneur plus élevée que celle qu'on avait jamais connue, et qui a porté la valeur de ces minerais de 316 francs la tonne à 493 fr. 50. Cependant, on constatait en même temps un appauvrissement de la blende en argent.

On a reconnu encore que des minerais d'argent accompagnaient la galène, et que ces minerais étaient généralement entraînés dans un lavage poussé à un trop haut degré. Ces minerais étaient perdus, entraînés par les eaux, et M. Fayn en avait signalé l'existence dans les vieux rebuts des anciens lavages. Des études récentes ont montré que les boues des canaux de la Vieille-Mine tiennent 400 à 600 grammes d'argent par tonne.

On connaît à Pontpéan deux sortes de blende : la blende fibreuse et la blende lamelleuse.

La première est surtout riche en argent et elle est en même temps cadmifère.

La blende lamelleuse ne paraît en renfermer que des traces.

La richesse de la blende fibreuse est comprise entre 1,400 et 2,500 grammes d'argent à la tonne. C'est un fait très-remarquable dont nous devons la connaissance aux belles études de MM. Durocher et Malaguti sur l'association de l'argent, études que nous avons déjà signalées.

Produit des mines de Pontpéan :

De 1789 à 1794,	3,667,089	kilos.
1858 à 1861,	8,397,000	—
1872,	1,055,350	—
	906,080	blende.

Baulon. — La baronne de Beausoleil a signalé auprès de ce pays l'existence d'une mine d'argent. La contrée y étant formée de terrains siluriens, et se trouvant en quelque sorte située entre Pontpéan et Poullaouen, il est bien possible qu'on trouve en ces lieux quelque mine de même genre. Tout porte à croire à l'existence dans cette contrée de quelque faisceau métallifère, comprenant tout à la fois les mines du Morbihan, celles des Côtes-du-Nord et d'Ille-et-Vilaine, dont nous ne connaissons qu'une partie.

Concession de la Chapelle-Saint-Maudé. — A 1,200 mètres environ à l'est de Baud, on connaît un filon de galène qui a été l'objet de quelques travaux.

Direction : N. 40 E. Inclinaison de 75° à l'est.

Roche encaissante : granite porphyroïde.

Gangue : quartzeuse.

Minerai : galène en veines de puissance variable, de 0,10 à 0,12; rendant 73,5 de plomb aux 100 kilos minerai et 40 grammes d'argent.

Des travaux de recherche y ont été exécutés de 1829 à 1834 et poursuivis après 1840. On a reconnu le filon sur une distance de 300 mètres en direction et de 60 en profondeur.

L'exploitation, aujourd'hui, ne peut y être faite que par puits.

Aux environs de Saint-Maudé, on a trouvé des morceaux de galène[1] et de blende qui semblent indiquer la présence d'autres filons dans la localité, et il serait peut-être utile de l'étudier plus qu'on ne l'a fait jusqu'ici.

Sur la commune de Plumelin on retrouve aussi d'autres gisements de plomb.

Concession de Crossac (Loire-Inférieure)[2]. — Cette concession renferme deux filons dans le granite. Étendue sur 2,000 mètres.

Puissance : 1 à 2 mètres.

Gangue : quartz caverneux.

Minerai : galène et pyrite de fer. La galène y forme des veines de 0,05 à 0,20 d'épaisseur, qui contiennent 60 grammes d'argent aux 100 kilos.

L'argent tient en outre 0,001 d'or.

Concession de Surtainville (Manche)[3]. — Nous avons vu déjà qu'un massif granitique, considéré d'une manière générale, courait en Bretagne, à peu près de l'est à l'ouest, entre Alençon et le cap Finistère. Des deux côtés de ce massif se trouvent de nombreuses indications métallifères, et on en connaît aussi dans le département de la Manche.

1. *Description géologique du Morbihan*, par de Fourcy.
2. Compte rendu des ingénieurs des mines, 1846.
3. *Essai sur les roches de la Manche*, par de Caumont, 1829.

C'est ainsi que les marbres du Cotentin, appartenant au terrain de transition, renferment des mines de plomb qui, à plusieurs époques, ont donné lieu à des exploitations.

La tradition recueillie par Duhamel indique que les Anglais firent des travaux considérables aux mines de *Pierreville* et à un quart de lieue de Surtainville, dans un endroit nommé la Ferrière. On y fit des recherches dans le siècle dernier; ces recherches furent abandonnées en 1741. Reprises en 1788, on y exécuta 4 puits et une galerie de 172 toises.

Ces essais furent renouvelés vers 1819 sans résultat.

Le gisement consiste en une couche métallifère, de 0,50 à 0,60 d'épaisseur, parallèle à la stratification des marbres.

D'après l'opinion de Duhamel, cette mine est importante; on y trouve de la calamine.

En 1788[1], selon ses renseignements, il existait sur cette mine 50,000 livres de minerai bon à fondre, 40,000 de blende, 10,000 de calamine.

La mine de boccard avait été employée à réparer les chemins.

A cette époque (1790), les travaux cessèrent par suite de la disparition des intéressés.

La tradition parle encore de travaux anciennement exécutés sur la paroisse de *Moncarville*, qui auraient fourni beaucoup de minerai de plomb.

Dans ces contrées on trouve encore, outre la galène, le cuivre pyriteux, la blende et la baryte sulfatée dans beaucoup d'endroits, dans des grès quartzeux et des arkoses qu'il conviendrait sans doute d'étudier, surtout quand on sait que, sur plusieurs points de la France, des grès de même nature ont été le réceptacle de substances métalliques qui, dans les temps anciens, ont donné lieu à des exploitations importantes.

Dans ces mêmes localités, les anciens minéralogistes rappellent aussi d'anciennes exploitations de plomb et de cuivre, notamment dans la forêt de *Briquebec*.

Enfin, Duhamel cite, dans les environs de Moncarville, encore plusieurs filons de quartz blanc de 6 à 7 pieds de puissance, à la naissance des buttes de *Montabeau*, renfermant des minerais de cuivre décomposés et faciles à attaquer par des galeries d'écoulement.

Mine de l'Essart (**Vendée**).— Les comptes rendus de 1846 font encore mention, en Vendée, d'un filon de plomb gisant dans les terrains anciens et qui fut aussi l'objet d'une exploitation oubliée.

Étain. — La Bretagne est particulièrement remarquable par les gisements d'étain qu'elle renferme et dont, malheureusement, jusqu'ici on n'a pas tiré le parti que les signes extérieurs permettaient d'espérer.

L'oxyde d'étain a été reconnu aux environs de Vannes, dans le Mor-

1. *Journal des Mines*, an III.

bihan et dans la Loire-Inférieure, sous les mêmes formes et avec les mêmes caractères; aux environs du Roc-Saint-André, à la Villeder, près de Questembert, à Penestin, à l'embouchure de la Vilaine, dans le département de la Loire-Inférieure, et non loin de là, plus au sud, dans le même département, à Piriac et Guerrande.

On a souvent dit que la France était dépourvue de gisements d'étain utilement exploitables, et cette opinion, exprimée quelquefois par des ingénieurs, paraissant confirmée par plusieurs insuccès, nous devons dire ce que nous pensons à cet égard.

Nous verrons, dans la suite de ce travail, que les gisements d'étain sont nombreux en France; qu'ils ont été activement exploités et travaillés par les anciens; et si nous devons reconnaître que deux ou trois d'entre eux ont été repris sans succès dans le cours de ce siècle, nous savons aussi qu'aucun des autres n'a été exploré d'une manière quelconque, et qu'il paraît impossible de rien déterminer aujourd'hui relativement à leur valeur ou à leur importance.

Quant aux gisements récemment attaqués, ceux de la *Villeder* dans le Morbihan, de *Vaulry* dans la Haute-Vienne et de *Montebras* dans la Creuse, nous n'ignorons pas que des sommes importantes y ont été dépensées d'une manière infructueuse; mais, en parlant de ces mines, nous aurons occasion de remarquer que ces insuccès ne nous semblent rien impliquer relativement à la valeur des autres gisements de la France, et ne condamnent probablement pas davantage ceux que peut contenir la vaste étendue de chacune des concessions auxquelles elles appartiennent.

Ces sommes dépensées, quoique perdues ou fortement compromises jusqu'à ce jour, n'auront véritablement aucune signification pour nous tant qu'il ne sera pas démontré que leur emploi a été fait conformément aux seules données de l'expérience.

Or, dans l'état actuel de nos connaissances, nous pouvons avouer que nous ne possédons aucune tradition, ni aucune règle qui nous fasse connaître la disposition du minerai dans nos gisements, ni la forme que peut présenter son agglomération dans les nombreux filons où il est répandu, et les travaux disséminés et peu profonds, faits jusqu'à ce jour, n'ont réellement encore enseigné que bien peu de chose à cet égard.

Dans aucun des endroits où l'on a travaillé, on n'a pénétré à plus de 40 à 50 mètres au-dessous de la surface du sol, et nulle part, en France, il n'a encore été fait aucun travail suffisant pour diriger le praticien et lui indiquer les règles qu'il doit suivre pour reconnaître et atteindre les parties les plus métallifères.

D'un autre côté, le minerai d'étain, minerai riche dont la valeur atteint quelquefois plus de 2,000 francs la tonne, comme en Bretagne, est généralement disséminé dans la roche qui le renferme, et il exige une extraction considérable pour produire des quantités quelque peu importantes. Si donc ces disséminations du minerai sont un des caractères

généraux des mines d'étain, on comprendra de suite que ces mines ne peuvent exister, à de très-rares exceptions près, qu'à la condition d'être soutenues par un puissant atelier de préparation mécanique qui puisse laver dans un temps donné des quantités considérables de roches métallifères ou par un grand développement de travaux.

C'est ce que nous voyons en Angleterre où, d'après M. Moissenet, il faut 33 mètres cubes pour fournir 1,000 kilogrammes de minerai à 72 à 73 pour 100 d'étain, qu'on extrait avec bénéfices.

Si maintenant nous nous rappelons que la densité de l'oxyde d'étain est de 6,5, nous voyons que ces 1,000 kilos de minerai ne représenteront pas 150 décimètres cubes d'oxyde pur disséminés dans 33,000, et si nous supposons une répartition égale de la substance métallique dans l'intérieur de la roche, nous voyons que chaque décimètre cube contiendra seulement de 4 à 5 centimètres cubes qui pourront y être disséminés d'une manière à peine discernable; nous voyons enfin que cette richesse métallique, étant concentrée, représentera à peine la contenance d'une veine d'oxyde d'étain de 5 millimètres d'épaisseur.

Or, des conditions semblables et plus avantageuses encore se trouvent remplies dans plusieurs points de la France, ainsi que nous aurons occasion de le voir, et par conséquent il nous sera permis de considérer l'opinion défavorable qu'on a pu exprimer comme n'étant pas encore suffisamment justifiée.

Remarquons, en outre, que l'or se trouve généralement, dans toutes ces mines, associé à l'étain et au mispikel ; il est probable qu'un grand nombre des exploitations ouvertes par les anciens sur nos gisements stannifères avaient pour but l'extraction de ce métal, et, à ce point de vue, ces gisements méritent une étude qui, jusqu'à ce jour, ne nous paraît pas avoir été faite avec des moyens suffisants.

Historique.—L'étain paraît avoir été connu et exploité dans ces contrées depuis un temps immémorial, au temps des Gaulois et probablement aussi pendant la période romaine. Le mot de *Penestin,* ainsi que l'a fait remarquer M. l'ingénieur Simonin, de dérivation celtique, en constate la présence, et des traces nombreuses d'anciennes exploitations, situées dans la concession de la Villeder, au sud et près de *Quily*, sur les collines du *Lédo*, ou sur celles qui bordent le ruisseau qui coule à l'est de *Pourmabon*, commune de Guëgon, montrent que ces exploitations ont dû y avoir une certaine importance.

Tous ces anciens travaux restèrent oubliés pendant des siècles, et leur souvenir était totalement effacé de la mémoire des habitants, quand, vers 1834, on y reconnut la présence de l'oxyde d'étain.

Quelques tranchées de peu d'importance y furent pratiquées à la surface à cette époque, et l'on en déduisit, ainsi que d'études officielles faites postérieurement, des conclusions tout à fait défavorables au point

de vue de l'exploitation[1]; néanmoins, vers 1846, des explorations, mieux comprises que les précédentes, furent ouvertes par des industriels au milieu des anciennes excavations de la Villeder, et l'on fit la découverte de nombreux filons; vers 1849, on put présenter à la Société industrielle d'Angers une statuette coulée avec l'étain de la Villeder, et quelques années plus tard, des travaux étendus allaient être exécutés par une Compagnie, exploratrice d'abord, puis investie de la concession de ces mêmes lieux.

Concession de la Villeder. — La concession de la Villeder occupe une grande partie de la surface d'un îlot granitique qui s'étend depuis le roc Saint-André jusqu'aux environs de Locminé. C'est la plus grande de toutes les concessions de la France.

L'oxyde d'étain s'y présente sous forme d'alluvions et dans l'intérieur de nombreux filons.

La plupart des vallées, et particulièrement celles de *Serent*, *Lisio*, *Saint-Servant*, *Guéhenno*, etc., renferment une couche d'alluvions stannifères, dans lesquelles on a reconnu la présence de l'or, comme dans celles de même nature qui existent entre les dépressions granitiques du Limousin, à Vaulry et à Cieux.

De 1853 à 1854, on en a extrait environ 11 tonnes de minerais qui furent vendus à Truro, dans le Cornouailles, au prix de 2,034 francs la tonne.

Ces alluvions existent dans presque toutes les vallées de la concession.

Des études faites récemment (1872), dans les vallées de *Brêman*, *Castillon*, *Poudelan* et *Guéhenno*, ont reconnu une couche stannifère de 0,20 à 1 mètre d'épaisseur. On a obtenu un rendement variant entre 2 et 10 kilos d'oxyde d'étain par mètre.

On voit combien il serait intéressant et utile d'explorer et d'exploiter ces vallées où la valeur de la terre varie de 300 à 3,000 francs l'hectare, et où chaque hectare peut contenir une valeur importante de minerai.

Filons de la Villeder[2]. — Ils sont très-nombreux, enclavés dans le granite et près de la ligne de séparation avec les schistes ou le killas qui le recouvrent. Quelquefois ils pénètrent dans ces dernières roches.

Ils constituent plusieurs groupes de filons, qui sont :

Le groupe des filons de la *Villeder*, de *Maupas*, du *Lédo* et du *Plinet;*
Le groupe des filons de *Pourmabon;*
Les filons de *Villaulau*, *Ville-au-Feu*, *Ville-ès-Métayer*.

Le premier de ces trois groupes, sur lequel les travaux les plus nombreux ont été exécutés dans ces dernières années, est compris dans une

1. *Annales des Mines*, t. VI, p. 381, 1834; t. VII, 1845.
2. Rapports à la Compagnie des mines du Morbihan, par M. Bronne, 1855. — Rapport de MM. Sainctelette et A. Gillon, 1867. *Notes inédites.*

bande de 1,200 mètres de largeur. La puissance des filons y varie de 0,50 à plus de 3 mètres; leur inclinaison est d'environ 85°. Ils sont généralement très-réguliers en direction comme en profondeur.

Leur direction se rapproche de celle du méridien magnétique.

La masse principale de chaque filon est composée de quartz plus ou moins translucide, blanc laiteux ou ferrugineux, compacte, fragmentaire ou carié. Vers la surface, le minerai est disséminé dans le quartz; en profondeur il paraît se concentrer en veines régulières au contact du granite, et se présente quelquefois massif sur plusieurs centimètres d'épaisseur.

Ces filons renferment encore un peu de fer hématite près de la surface et une petite quantité de mispikel dans la profondeur.

On y trouve aussi, comme dans les filons du Cornouailles, l'émeraude, le wolfram, la topaze, des traces de blende, de pyrite cuivreuse, de fer titané, etc.

Le granite est généralement altéré au contact des filons, surtout aux approches des schistes.

Les caractères généraux que nous venons d'exposer sont ceux qui se présentent le plus généralement pour tous les filons de la concession; nous devons cependant ajouter que, d'après M. Bronne, dans quelques endroits, surtout vers la surface, ces filons sont reliés par une multitude de petites veines qui s'entrecroisent de manière à donner l'apparence d'un stockwerck.

On a trouvé dans ces mines un grand nombre des cristaux d'oxyde d'étain qui ornent aujourd'hui la plupart des musées de la France, et les minerais, analysés par M. Beudant, ont donné :

Minerais provenant des filons :

Oxyde d'étain, 0,92.
Oxyde de fer, 0,02.
Gangue siliceuse, 0,01.

Minerais provenant des alluvions :

Oxyde d'étain, 0,94.
Oxyde de fer, 0,02.
Gangue siliceuse, 0,04.

M. Durocher avait constaté dans ces minerais la présence de l'argent.

Enfin, près du village de *Bréman*, commune de *Sérent*, on a reconnu un filon d'environ $0^{m},15$ de puissance, enclavé dans le granite, dirigé de l'est à l'ouest et formé de quartz bleuâtre. Les alluvions de la vallée qui y correspond sont d'une richesse remarquable et contiennent des morceaux d'étain volumineux.

Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer la présence de ce filon, courant E.-O., à côté de tous ceux que l'on connaît, dirigés N.-S.

Ce fait indique évidemment que les environs de la Villeder sont traversés par des filons de directions diverses. Or, si on se rappelle que, d'après M. Thomas, l'un des directeurs les plus pratiques du Cornouailles[1], la direction des filons les plus productifs de ce pays se trouve comprise dans un angle variant de 30° au nord et au sud de la ligne E.-O.; que, de plus, la direction N.-S. y correspond à des filons quartzeux peu riches, on comprendra combien il pourrait être utile de fixer l'attention sur les filons de la Bretagne qui se rapprochent de la direction E.-O.

Ces mines ont été travaillées à divers intervalles, de 1846 à 1865. On en a extrait environ 33 tonnes de minerai qui, vendues, ont produit la somme de 62,500 francs, et environ 50 tonnes qui ont été fondues à la Villeder.

En 1865, les travaux étaient abandonnés, comme ils l'étaient encore en 1872. Pendant toute cette période, on n'a fait que des travaux d'exploration consistant en huit puits, d'une profondeur moyenne de 33 mètres, et plusieurs galeries dont deux d'écoulement. L'une de ces deux galeries, située à 50 mètres au-dessous des affleurements, devait avoir une longueur de 800 mètres; elle a été suspendue après avoir été poursuivie jusqu'à 450 mètres. Aucun travail de production n'a, pour ainsi dire, été ouvert, quoique le minerai ait été reconnu sur un grand nombre de points.

« Le malheur de l'entreprise, disent MM. Sainctelette et Gillon, a peut-être été l'étendue même de la concession (17,400 hectares); si les travaux, au lieu d'être disséminés en explorations successives à la surface, eussent été dirigés immédiatement en profondeur, il est probable que, depuis longtemps, l'entreprise donnerait de beaux résultats. »

En 1873, on est rentré de nouveau dans ces ouvrages abandonnés, et ce que l'on voit dans les travaux récemment exécutés paraît devoir modifier notablement les idées défavorables qu'on avait pu concevoir jusqu'ici[2].

Un puits creusé à la Villeder, dans un granite décomposé, a reconnu, par de nouveaux travaux, quatre filons de 0,40 à 1 mètre de puissance, contenant beaucoup d'oxyde d'étain. La teneur moyenne de ces filons peut être de 30 à 35 kilos d'oxyde par mètre cube de filon abattu.

Dans divers endroits, on peut voir en place des veines massives de un à plusieurs centimètres d'épaisseur.

Au *Lédo*, dans la même concession, à 5 kilomètres N.-E. de la Villeder, les travaux faits avant 1865 sont aujourd'hui noyés; mais des recherches récentes, faites à la surface, ont découvert des veines de quartz avec minerai massif.

Quelque incomplets que soient ces détails, ils paraissent suffisants

1. *Annales des Mines*, 1862.
2. Notes inédites de M. Victor Sergent.

pour montrer qu'on est en droit d'espérer beaucoup de l'avenir des mines de la Villeder. Tous les travaux exécutés jusqu'à ce jour sont restés concentrés près de la surface et des affleurements, et quand nous voyons que la richesse des mines du Cornouailles s'est accrue dans la profondeur, il nous sera permis de croire qu'il en pourra être de même en Bretagne où il semble que, dès à présent, une exploitation intelligente pourrait tirer un parti avantageux des nombreuses découvertes qui y ont été faites.

Les canaux et les chemins de fer qui aujourd'hui sillonnent la contrée tendent encore à faciliter, dans l'avenir, l'exploitation de ces mines.

Questembert. — On y connaît un filon quartzeux stannifère enclavé dans le micaschiste. Sa puissance est de 2 à 3 mètres. On l'a exploité jusqu'à présent pour l'entretien des routes des environs. Il n'y a jamais été fait de travaux pour la recherche du minerai.

Penestin et *Piriac* (**Loire-Inférieure**). — Les sables de la mer à *Penestin* (en breton, pointe d'étain), sur la rive gauche de l'embouchure de la Vilaine, et à *Piriac*, près du *Croisic*, ont été travaillés à diverses époques. Ils ont été reconnus stannifères et aurifères. D'après des analyses de M. Durocher, ils renferment 10 à 15 kilogrammes d'étain au mètre cube et 1/2 gramme d'or.

La mine de Piriac fut découverte en 1813 par M. de la Guerrande.

Près de *Piriac*, à la pointe de *Penharing*[1], on trouve le granite coupé par des filons de quartz hyalin, blanc, offrant souvent des déviations. C'est dans cette partie qu'on remarque le minerai d'étain. La roche granitique ne se laisse apercevoir que sur les bords de la mer où elle est recouverte à chaque marée par les eaux. Au milieu des débris qui recouvrent la plage, on trouve des fragments isolés, anguleux et quelquefois fort gros de quartz stannifère. Ce quartz est en général hyalin, blanchâtre, grisâtre, fétide, transparent, etc.

Quelques-uns des filons de quartz qui traversent le granite ont une puissance de 1 mètre à $1^{m},50$.

L'auteur de cette note faisait remarquer l'analogie qui existe entre Piriac et Guérande, et engageait déjà, à cette époque, à examiner avec attention la côte entre Saint-Nazaire et Piriac, où vraisemblablement on trouverait de nouveaux filons d'étain.

Mine de mercure à Ménildot (**Manche**). — Indépendamment des nombreux indices de minerais divers que l'on rencontre dans le département de la Manche, nous devons rappeler le gîte de mercure de Ménildot, situé à 2 lieues de Saint-Lô, près de la Chapelle-en-Juger, qui fut l'objet d'une exploitation assez importante de 1730 à 1742.

1. *Journal des Mines*, 1814, Note de A. Hersant.

Les anciens minéralogistes parlent de ces mines, que nous ne faisons que signaler, mais dont nous avons pu voir de beaux échantillons remplis de cinabre.

Historique. — L'exploitation de cette mine paraît se rapporter à une époque très-reculée. Les souvenirs que l'on possède aujourd'hui remontent à 1710 et en 1730.

D'après Duhamel, elle fut reprise et poursuivie jusqu'en 1742.

Les travaux y firent reconnaître l'existence de deux filons terreux, presque verticaux, de 0,30 à 1 mètre de puissance, à gangue de schistes, de quartz et d'argile, tendant à se réunir, éloignés l'un de l'autre par un espace de 10 mètres. La direction de l'un d'eux est S. O.-N. E., l'inclinaison au S.-E. Le minerai, à l'état de cinabre, était mélangé de pyrite de fer.

De graves abus, ajoute Duhamel, qui eurent lieu dans l'administration de l'entreprise, l'ignorance des directeurs, et enfin un éboulement qui survint dans les travaux souterrains, en déterminèrent l'abandon en 1742.

Depuis cette époque, il n'a été fait sur le gîte de Ménildot que des travaux mal conçus et qui ne pouvaient conduire à aucun résultat satisfaisant. Ces travaux furent poursuivis en 1780. On vidait le jour l'eau qui s'était amassée la nuit, pendant laquelle on ne travaillait pas, et ils furent bientôt abandonnés[1].

Duhamel, qui donne quelques détails sur cette mine, ajoute : « Les « bénéfices que l'on peut faire sur cette entreprise paraîtront toujours « très-douteux à un homme instruit et de bonne foi. » Mais néanmoins il engage l'État à faire exploiter cette mine, et il ajoute un renseignement précieux, facile à vérifier :

« La route de Saint-Lô à la Chapelle présente peut-être plus de 20 fi- « lons qui méritent d'être sondés ; il y en a peut-être de meilleurs que « ceux que l'on a travaillés. »

D'après cette observation, les environs de la Chapelle-en-Juger posséderaient donc un faisceau de filons cinabrifères qui ne sont pas connus et mériteraient d'être attentivement étudiés.

Vendée.

Mine de l'Essart. — Les comptes rendus de 1846 y font mention d'un filon de plomb gisant dans les terrains anciens et qui fut un peu exploité anciennement.

Mine de Bonpaire. — Ils citent également la mine d'antimoine de la *Ramée*, commune de *Bonpaire*, qui consistait en un filon quartzeux. Elle

1. *Journal des Mines*, an III.

avait été l'objet de travaux assez importants dans des temps reculés. Elle fut reprise vers 1851 et bientôt après abandonnée.

Anjou.

Hellot rappelle, d'après Piganiol, l'existence de mines de plomb, argent, etc., au village de *Chevaux*, paroisse de *Courcelles*.

Les terrains de transition, et notamment le terrain silurien, possèdent dans ce pays un très-grand développement, et on y exploite aujourd'hui des mines de fer que les anciens y avaient travaillées sur un grand nombre de points.

Touraine.

Le même auteur cite encore des mines de cuivre et argent sur l'abbaye de *Noyers*. Ces mines furent concédées dans le siècle dernier après quelques essais. Rien n'en fait connaître l'importance.

Berry (Cher et Indre). — Poitou (Vienne et Deux-Sèvres). Angoumois (Charente). — Partie de la Guyenne (Dordogne).

Les montagnes granitiques du plateau central forment, du côté de l'ouest, une sorte de promontoire avancé, circonscrit par une ceinture de roches sédimentaires qui se développent dans les départements du Cher, de l'Indre, de la Vienne, de la Charente et de la Dordogne.

Ces granites, avec les gneiss et micaschistes qui leur sont superposés, disparaissent au-dessous de ces dernières roches; mais, dans le nord de la Charente comme dans les Deux-Sèvres, ils sont peu éloignés, au-dessous de la surface du sol, et ils vont se relever plus loin, vers la Vendée, pour former les principales proéminences de la Bretagne.

Dans ces divers départements, on a signalé depuis longtemps la présence de nombreux indices métalliques que l'on trouve groupés dans des filons ou disséminés et réunis au sein des couches jurassiques ou triasiques, autour des montagnes granitiques centrales, ou à peu de distance des granites que recouvrent ces couches.

L'étude de ces derniers gisements offre un très-grand intérêt au point de vue théorique, mais elle mérite encore une attention toute particulière parce qu'elle montre une série de dépôts métalliques répandus au sein des couches secondaires particulièrement triasiques, distribués tout autour du plateau central et formant, en quelque sorte, un horizon métallifère d'une grande extension que l'on retrouve, au nord-est, dans la Moselle et probablement en Allemagne, et jusque dans le sud-est, dans le Var.

Quelques-uns de ces dépôts n'ont probablement qu'une très-faible importance; mais il en est parmi eux, tels que ceux de Notre-Dame-de-

Laval, etc., dans le Gard, et de Melle dans les Deux-Sèvres, qui ont donné lieu à des exploitations prolongées; et il est permis de supposer aujourd'hui qu'ils ne sont pas tous connus, ou que ceux qui le sont ne sont pas entièrement épuisés.

En général, dans la contrée que nous considérons, les tentatives faites dans ces derniers temps n'ont conduit à aucun résultat prospère, et on a une opinion peu favorable à la richesse des gisements qu'on y connaît; mais, quoique la géologie y ait été étudiée par des hommes de mérite, nous pensons qu'il reste encore beaucoup d'observations à faire au point de vue des gisements métalliques.

Mines et gisements connus :

Département du Cher.

Château-Meillant : cuivre, galène et manganèse. Travaux abandonnés.
Saint-Christophe-le-Chaudry : manganèse. Concédé en 1832. 176 hectares.

Département de l'Indre.

Urciers : galène. Concédé en 1856. 300 hectares. Travaux abandonnés.
Éguzon : pyrites de fer. Concédé en 1858. 516 hectares.
Saint-Sévère : cuivre. Travaux anciens.
Saint-Benoît-du-Saut : galène. Recherches peu suivies.

Département de la Vienne.

Le Vigean : galène et cuivre.
Ille-en-Jourdain : galène et cuivre.
Civray : cuivre.
Sauxais : galène et calamine en couches.

Département des Deux-Sèvres.

Saint-Maixent : galène en couches.
Lamothe-Saint-Théray : galène en couches.
Melle : argent. Anciens travaux très-étendus. Couches.

Département de la Charente.

Alloue : galène et blende. Concédé. Anciens travaux. Couches.
Champagne : prolongement des couches métallifères d'Alloue.
Nanteuil : — —
Condac : — —
Ruffec : — —
Chéronies : anciens travaux. Couches.
Confolens : gisements plombeux argentifères.
Esse : étain.

Étagnac : antimoine.
Menet, canton de Montbron : galène. Ancienne fonderie.

Département de la Dordogne.

Saint-Martin-le-Pin :	manganèse.	Concédé en	1840.	181	hectares.
Saint-Pardoux :	—	—	1841.	279	—
Thiviers :	—	—	1840.	234	—
Theijat :	—	—	1842.	447	—

Milhac-de-Nontron : manganèse.
Nontron : manganèse.
Saint-Martin-de-Fressengeas : manganèse.
Nontron et *Saint-Martin* : plomb et argent. Filons.
Terrasson : cuivre.
Jumilhac : antimoine.
Mialet et le *Chalard* : sulfure d'argent.
La Bachelerie, arrondissement de Sarlat : cuivre.

Département du Cher.

La majeure partie de ce département constitue un vaste plateau d'une surface à peu près uniforme et d'une altitude de 150 mètres. Le centre est particulièrement composé de roches jurassiques superposées au trias, qui présente ses affleurements sous la forme d'une bande étroite s'appuyant, à l'extrémité méridionale du département, sur les roches cristallines et les micaschistes.

Ce département est depuis longtemps connu par la production du fer, et les Bituriges jouissaient anciennement d'un grand renom comme métallurgistes; mais les substances métalliques autres que le fer connues y sont peu abondantes. Cependant, des filons quartzeux renfermant du fer oxydé, de la galène et de la pyrite cuivreuse, traversent les roches cristallines et sédimentaires.

A *Château-Meillant*, on connaît plusieurs filons quartzeux contenant de la galène et de la pyrite cuivreuse. Ces filons paraissent être le prolongement d'un faisceau métallifère, qui se prolonge dans le département de l'Indre, du côté d'Urciers.

Des tentatives d'exploitation y ont été faites à plusieurs époques, et notamnent en 1868, mais toutes, bien superficielles, ont été abandonnées.

Saint-Christophe le Chaudry. — Le manganèse s'y trouve, comme aux environs de Château-Meillant, en amas et veinules irrégulières dans les couches du trias qui reposent sur les schistes cristallins. Des travaux y ont été faits avec succès vers 1835, et il est possible qu'ils soient susceptibles d'être aujourd'hui repris avantageusement (1873).

Dans l'explication de la carte géologique de France, M. Élie de Beau-

mont fait remarquer que les manganèses de ces localités, comme ceux de la Dordogne, que nous mentionnerons plus loin, et celui de Romanéche, dans Saône-et-Loire, renferment 4 à 5 pour 100 de baryte sulfaté, ce qui semble indiquer pour eux tous une communauté d'origine.

En 1850, les auteurs de la carte géologique du département du Cher écrivaient que les gisements plombeux et cuivreux de ces localités ne paraissent pas placés dans des conditions assez favorables pour permettre qu'on pût les exploiter fructueusement; mais aujourd'hui, en 1873, ces conditions tendent à se modifier notablement, par suite des chemins de fer qui y sont actuellement en construction, et ces gisements méritent peut-être plus d'attention que dans le passé.

Département de l'Indre.

Mines d'Urciers. — Ces mines sont situées sur les communes d'Urciers et de Lignerolle, arrondissement de La Châtre. Elles étaient connues depuis longtemps, et la tradition rapporte que des travaux y furent exécutés dans le neuvième siècle, au temps de Charles le Chauve. Ces travaux sont généralement inconnus, mais leur existence paraît bien réelle, car, vers 1868, une galerie d'écoulement que l'on poursuivait rencontra des excavations anciennes qui n'apparaissaient pas à la surface. Après un long abandon et des tentatives diverses, elles furent reprises vers 1856, abandonnées de nouveau quelques années plus tard, et travaillées pour la dernière fois en 1868, pendant l'espace d'un an.

Elles sont ouvertes sur un filon parallèle à la stratification des schistes encaissants. — *Puissance :* variable, 0,35 à 0,50 et plus. — *Direction :* N. S. — *Minerais :* galène cubique accompagnée près des affleurements de plomb phosphaté et de carbonates de cuivre, dans une gangue terreuse près de la surface, et devenant de plus en plus dure et quartzeuse en descendant. La teneur du minerai extrait en plomb était moyennement de 67 à 70 pour 100 en 1868. La quantité d'argent qu'il renferme a été considérée jusqu'ici comme insignifiante.

Les travaux exécutés jusqu'à ce jour n'ont pas pénétré, moyennement, à plus de 30 mètres de profondeur au-dessous des affleurements. Ils consistent en cinq ou six puits ouverts sur le filon lui-même et en galeries horizontales. Le minerai, distribué d'une manière irrégulière dans l'étendue du filon, y a été abondant.

Il ne nous est pas permis de juger des causes d'abandon de cette mine, mais il y a tout lieu de croire que la faible quantité d'argent dans le minerai, l'augmentation des eaux à épuiser avec l'accroissement de la profondeur et la difficulté d'ouvrir des galeries d'écoulement exercèrent sur l'exploitation une fâcheuse influence. Nous devons ajouter que, selon toute apparence, le filon d'Urciers n'est pas seul, ainsi que l'indiquent les anciens travaux que l'on a trouvés en dehors de sa trace, et par con-

séquent rien ne prouve qu'on ne puisse rencontrer dans cette localité des concentrations métalliques plus abondantes et des minerais d'une teneur en argent plus élevée que celle qu'on y a constatée jusqu'ici.

Saint-Sevère : cuivre. — Quelques travaux anciens exécutés au temps des seigneurs.

Département de la Vienne.

Aucun travail de mine n'est exécuté aujourd'hui (1873) dans ce département; cependant des indices métalliques y ont été signalés depuis longtemps. Ainsi, en 1705, Louis XIV donnait un édit à Versailles pour l'ouverture des mines d'or, d'argent et autres métaux nouvellement découverts dans les terres du *Vigean* et de l'*Ile en Jourdain*, sur la Vienne, en Poitou; et plus tard, vers 1770, on découvrit une mine de cuivre jaune, aux environs de *Civray*, près du château de *Traversay*[1].

Sauxais. — C'est une ancienne mine, présentant des caractères analogues à celle de Melle (Deux-Sèvres), dont nous parlerons plus loin.

Département de la Charente.

Les gîtes métallifères de la Charente sont concentrés aux environs de Confolens, où se montrent les terrains anciens traversés par des éruptions porphyriques et dans les couches secondaires qui s'appuient sur ces terrains. Au milieu des gneiss, on peut observer de nombreux filons de quartz amorphe atteignant quelquefois la puissance de 15 mètres[2].

Entre Confolens et Saint-Germain, on voit quelques travaux de recherches consistant principalement en galeries de direction.

Les premiers indices que l'on rencontre, dit M. Coquand, consistent en un filon de quartz rubanné de 0,40 de puissance, dans un granite passant au gneiss et à une syénite schistoïde, à peu près vertical. Les travaux les plus étendus avaient été entrepris au lieu dit la *Grange-Combourg*. On y recherchait des minerais plombeux, donnant 54 à 60 pour 100 de plomb environ et 60 grammes d'argent au quintal.

Les galènes sont accompagnées de blendes argentifères, pyrites argentifères et de cuivre pyriteux.

D'après une statistique de l'arrondissement de Confolens, publiée en 1823, on découvrit dans ces montagnes un filon d'étain oxydé avec du wolfram, auprès d'*Esse*.

En 1821, on a fait des recherches aux environs de ce dernier pays, et

1. Anciens minéralogistes.
2. *Carte géologique de la Charente*, par Coquand.

surtout près du village de *Grand-Neuville*. On y a trouvé de la galène et des blendes argentifères. Les minerais plombeux tenaient 70 pour 100 de plomb et 3 à 5 onces d'argent, soit environ 100 à 150 grammes.

En 1856, on découvrit quelques filons quartzeux N. S., avec chaux carbonatée et pyrite de fer, dans la commune de *Brigueil*. Les travaux de cette époque sont noyés.

Menet, près Montbron. — Filon de galène en rapport avec des éruptions porphyriques, exploité vers la fin du siècle dernier (1770). Les travaux y avaient été assez importants pour alimenter une fonderie. Les anciens minéralogistes ont signalé cette mine comme ayant été abandonnée à cause de la modicité de ses produits ou à cause de sa mauvaise exploitation.

Etagnac : gîtes d'antimoine dans le gneiss.

Alloue : plomb. — Des travaux anciens considérables, qui remontent peut-être au temps des Romains, ont été exécutés dans ces lieux pour l'extraction des minerais de plomb.

On a repris ces travaux dans ces dernières années, mais on ne les a poursuivis que pendant peu de temps.

Gisement. — Il consiste en une série de couches presque horizontales ou faiblement inclinées, appartenant à la partie inférieure du terrain jurassique, plus ou moins imprégnées de minerais de plomb et de zinc. Ceux-ci y sont distribués en grains, en rognons, en amas, en veines, etc., irrégulières et sur une épaisseur qui, quelquefois, est de 15 mètres.

En 1860, au moment où nous eûmes occasion de visiter cette mine, on exploitait à ciel ouvert et on extrayait une galène à grains d'acier, associée à une quantité considérable de blende blonde et à du plomb carbonaté. Ces minerais rendaient 40 à 45 pour 100 de plomb et 100 à 150 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb d'œuvre. Vauquelin y constata la présence du platine.

A cette époque, on les transportait à Bordeaux pour y être fondus.

Les Chéronies, commune de Chantrézac. — Ce gisement paraît semblable au précédent; on l'a exploité anciennement, et les minerais étaient fondus à une usine située à Beaumont. Ils consistaient en galènes, pyrites de fer, de cuivre, blendes et calamines. Berthier a signalé aux Chéronies[1] la présence de l'argent carbonaté.

Il est digne de remarque que les couches jurassiques ainsi minéralisées renferment des parties silicifiées et des jaspes qui, quelquefois terreux et décomposés, contiennent de la calamine cristallisée; quelques-

1. *Traité de la voie sèche.*

uns de ces jaspes, excessivement ferrugineux, renfermaient en notable proportion le plomb et l'argent à la dose de 5 à 6 millièmes[1].

Ainsi, on trouve dans ces contrées des couches métallifères, sans doute modifiées par leur rapprochement des granites, sur lesquelles elles reposent ou dont elles sont peu éloignées, renfermant des amas irréguliers de minerais de plomb et de zinc d'une faible richesse en argent, et à côté d'eux, irrégulières, des veines terreuses pouvant contenir de l'argent en quantité notable.

Ces couches n'affleurent pas partout à la surface du sol; elles disparaissent au-dessous de ses sinuosités ou ne se montrent qu'en quelques points. D'après M. Meillet, elles se poursuivent dans la direction N.-O., aux environs de *Champagne-Mouton*, *Nanteuil*, *Condac*, *Ruffec*, et se relèvent par *Chef-Boutonne*, vers *Melle*, la *Motte Saint-Héray* et *Saint-Maixent*, dans les Deux-Sèvres, où ont eu lieu des exploitations prolongées.

On pourrait donc concevoir, dans la Charente comme dans les Deux-Sèvres, l'existence d'une étendue métallifère importante, renfermant des minerais de plomb et de zinc pouvant être quelquefois en blocs de milliers de quintaux, dont la position pourrait facilement être déterminée à l'aide de sondages peu profonds; on pourrait peut-être y découvrir ainsi, indépendamment de ceux que l'on connaît déjà, des gisements argentifères d'une teneur élevée. Cette dernière observation paraît d'autant plus probable que l'exploitation de Melle, qui appartient au même système de couches, paraît avoir été établie sur des gisements pour ainsi dire exclusivement argentifères, ainsi que nous allons le voir.

Département des Deux-Sèvres.

Mines de Melle. — On y voit encore aujourd'hui les vestiges des travaux anciens qui y furent pratiqués dans des époques très-reculées. La ville de Melle est souterrainement sillonnée dans tous les sens par une multitude de galeries d'une grande étendue, et des amas de déblais considérables se montrent sur la montagne de *Saint-Pierre*. Il y a donc eu là une exploitation importante dont on a en quelque sorte perdu le souvenir. La tradition fait remonter les temps de son activité aux rois de la seconde race et au neuvième siècle, et les travaux y auraient été poursuivis jusqu'au commencement du dix-septième siècle.

Ces travaux étaient complétement oubliés, lorsqu'en 1821, MM. de Cressac et Manès donnèrent une description géognostique des terrains qui les enveloppent. Ces deux savants rappelèrent que Melle fut longtemps un atelier monétaire, et que dans beaucoup de tombeaux de cette localité, on trouva des creusets, derniers souvenirs des fondeurs

1. *Une excursion minéralogique en Limousin*, par M. Meillet.

auxquels ils avaient appartenu. Ils pensèrent que cette exploitation avait pour but d'extraire des galènes argentifères.

Si on pénètre dans l'intérieur des galeries, ou si on examine avec le plus grand soin les déblais de la montagne de Saint-Pierre, c'est à grand peine et après bien des recherches qu'on peut parvenir à recueillir quelques grammes de ces derniers minerais; ce que l'on en retire ne donne qu'une galène peu ou point argentifère, et l'on est fort embarrassé pour déterminer la nature réelle du minerai que l'on y recherchait. Mais si on observe les travaux avec quelque attention, on trouve les traces d'une terre ferrugineuse analogue aux *pacos* ou *colorados* du Chili ou du Pérou, et on est porté à croire que la mine de Melle était une mine d'argent. Telle a été l'opinion exprimée par M. Meillet après une excursion dans l'intérieur des travaux. Nous ne pouvons mieux faire que de reproduire ses propres paroles. « Nous avons parcouru, dit M. Meillet (1858), sur « une grande longueur (près de 400 mètres) les anciens travaux, et nous « avons observé dans les galeries une immense quantité de poches ou « fours à cristaux tapissés de cristal de roche. Ces poches ont été fouil- « lées dans des endroits où les deux surfaces n'ont pas souvent plus de « 10 centimètres d'écartement, et cela néamoins sur une grande éten- « due. Or, pour extraire de la galène de ces espèces de fentes, cela était « absolument impossible; ce minerai est dur, toujours adhérent à des « gangues solides, et une multitude de ces espèces de fours ont dû être « vidés avec des crochets ou des cuillères. Ce n'était donc qu'une ma- « tière meuble et friable que l'on en pouvait extraire. Nous avons même « trouvé des trous ayant la forme d'une bouteille et qui avaient été « vidés par un orifice très-étroit. Les galeries tout entières sont criblées « de ces sortes d'excavation. Nous avons alors cherché à recueillir les « substances qui pouvaient se trouver dans ces cavités. Nous avons ré- « colté, en effet, une certaine quantité d'une argile jaunâtre ferrugi- « neuse d'un aspect absolument identique aux *pacos* ou *colorados* du « Chili et du Pérou. »

Ces terres, analysées par M. Meillet, ont donné en argent 0,005, 0,002, 0,003, 0,004, 0,0001, et comme elles ne résultent que des rebuts laissés par les anciens, il est permis de croire que ce qu'ils en tiraient était d'une plus grande richesse.

Si maintenant l'on ajoute qu'aux environs de cette mine on ne découvre aucune trace de scories plombeuses, on est porté à admettre que les exploitants du temps passé extrayaient à Melle des minerais d'argent qu'ils traitaient par la voie d'amalgamation. On sait que les mines de mercure d'Almaden étaient travaillées au temps des Romains. Cette opinion, qu'exprima M. Meillet, paraît très-raisonnable, et il n'est pas surprenant qu'aucun document ne fasse mention de ce procédé dans les temps anciens, quand on pense aux mystères dont les fondeurs et les mineurs entouraient leur profession. C'est même ainsi qu'on peut s'ex-

pliquer les grands travaux anciens d'Almaden pour l'extraction d'une substance dont les usages étaient alors assez limités.

Les quelques lignes que nous venons d'écrire sur les gisements métallifères en couches, qui se montrent dans l'ouest de la France, suffisent pour montrer combien il serait peut-être utile d'étudier à nouveau tous ces gisements avec le plus grand soin et dans leurs plus minutieux détails. Le rapprochement du granite, la silicification des couches liasiques ou triasiques, la présence des matières ocracées ferrugineuses argentifères et le développement considérable que paraît devoir atteindre l'ensemble de ces phénomènes divers dans ces contrées, sont autant de sujets de réflexions intéressantes et autant de faits qui semblent réclamer des recherches plus sérieuses que celles qui paraissent avoir été faites jusqu'à présent.

Département de la Dordogne.

Ce département, si remarquable par les exploitations de fer qui y ont été pratiquées depuis un temps immémorial et déjà célèbre à l'époque de Strabon, renferme aussi des substances minérales métallifères de diverses natures, travaillées anciennement.

François Belleforest de Comminges fait mention de minerais d'argent aux environs de Nontron. On y voit encore, disait M. Delanoue, de vastes excavations dont la tradition est perdue, et où, comme à Melle, dans les Deux-Sèvres, il est impossible de dire d'une manière précise quelle était la substance principale qu'on y recherchait.

Minerais de manganèse. — Ces minerais, si importants aujourd'hui, ont été pendant longtemps, dans la Dordogne, l'objet de nombreux travaux. Dans certains points, ils constituent des gisements placés, comme ceux de Saône-et-Loire, au contact des roches primordiales ; mais, ailleurs, comme aux environs de Nontron, ils appartiennent à une série de couches situées au-dessus d'une puissante assise de calcaires magnésiens et d'argiles gypseuses, qui font probablement partie de l'oolithe inférieure. On les trouve en rognons ou en veines irrégulières, atteignant quelquefois une puissance de 2 mètres, associés à des argiles et à des jaspes ; ils ont été exploités à la surface du sol depuis des temps très-reculés.

A *Saint-Martin de Fressengeas*, près Thiviers, le manganèse forme des rognons et des veinules dans le calcaire oolithique ; il est accompagné d'argiles et de jaspes en nodules irréguliers. Ce gisement, situé près de la ligne de contact des terrains anciens, est analogue à ceux de *Milhac de Nontron* et de *Saint-Jean de Côle.*

A l'*Age-Saint-Martin*, le manganèse forme en quelque sorte des stalactites dans le gneiss.

A *Excideuil*, il se présente sous forme de veines irrégulières courant dans le calcaire jurassique tantôt compacte et lithographique et tantôt dolomitique.

A *Fousseyraux*, en veinules et amas irréguliers dans l'oolithe.

Toutes ces mines ont cessé d'être exploitées depuis longtemps, et dans ces dernières années elles n'avaient pas été reprises, mais les besoins croissants du manganèse et la hausse des prix les feront peut-être explorer et exploiter de nouveau.

A une certaine époque, feu M. Delanoue extrayait des minerais cobaltifères des environs de Nontron.

Ces minerais étaient subordonnés à ceux de manganèse, dont ils faisaient partie, ou bien ils consistaient en amas ou en nids d'hydrosilicate d'alumine et de chaux disséminés dans une argile du lias, et contenant quelquefois, comme près de *Bourg-Vieux*[1], 2 pour 100 de cobalt.

Les filons sont nombreux dans les gneiss des environs de Nontron; le sulfate de baryte y sert de gangue à la galène, au phosphate de plomb et à des blendes cadmifères (*Nontron*, *Saint-Martin-le-Point*); le quartz accompagne le sulfure d'antimoine (*Jumilhac*, *Glandon*), le sulfo-arséniure de fer et le sulfure d'argent (*Mialet*, *le Chalard*); enfin, d'après M. Delanoue[2], il existe dans les gneiss de *Saint-Paul* et de *Puy-Chalard* d'énormes filons de sulfure, de peroxyde et hydrate de fer amorphe et cristallisé, accompagnés de jaspes et d'hydrate de manganèse mamelonné, absolument semblables à ceux des terrains secondaires.

Terrasson : cuivre. — Dans le même groupe de montagnes que les gîtes voisins de la Corrèze, d'*Yssandon*, *Ayen*, etc., et dans la Dordogne, on voit le minerai de cuivre à *Terrasson*. Ce gisement paraît consister en disséminations dans divers filons qui traversent un grès bigarré rouge et vert du trias, recouvrant le terrain houiller. Ce grès bigarré est recouvert par une arkoze quartzeuse, qui, commençant à Brives, s'étend jusqu'à Excideuil, et se poursuit d'Excideuil jusqu'à Nontron et jusqu'à Montbron, dans la Charente, en reposant sur le granite. C'est à ce même ordre de faits géologiques qu'appartient le gisement signalé près de la *Bachelerie*.

Jusqu'à présent rien n'indique l'importance de ces gisements divers, subordonnés aux couches au milieu desquelles on les trouve.

1. Compte rendu de 1846.

2. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, tome VIII.

IV

Montagnes centrales de la France.

Si l'on jette un coup d'œil sur une carte géologique de la France, on y voit, vers le centre, un massif considérable où dominent les terrains cristallins, granitiques et schisteux, dont la plus grande étendue est désignée sous le nom de *plateau central;* ce massif constitue l'un des reliefs les plus accidentés de notre sol, et l'un de ceux que l'on a considérés longtemps comme les plus anciennement émergés, mais les études récentes de M. Fabre, membre de la société géologique de France, ont montré que le groupe de la Lozère, qui en est un des points les plus saillants, était recouvert par les eaux de la mer à l'époque liasique.

Le massif que nous considérons se relie à la chaîne des Pyrénées par les montagnes Noires et les Corbières, aux Vosges par l'axe culminant de la Côte-d'Or, et il s'étend, du nord au sud, depuis le Morvan jusqu'au département de l'Aude, de l'Est à l'Ouest, depuis les bords du Rhône jusqu'à la vallée de la Vienne. Il comprend les provinces suivantes :

Morvan : **Nièvre, Yonne, Côte-d'Or, Saône-et-Loire.**

Marche et Limousin : **Haute-Vienne, Creuse, Corrèze.**

Lyonnais et Beaujolais : **Rhône.**

Bourbonnais : **Allier.**

Forez : **Loire.**

Vivarais : **Ardèche.**

Auvergne : **Puy-de-Dôme, Cantal.**

Velay : **Haute-Loire.**

Gévaudan et Cévennes : **Lozère, Gard.**

Rouergue : **Aveyron.**

Dans cette vaste étendue considérée d'une manière générale, on remarque :

Le massif porphyrique du *Morvan ;*

Le groupe granitique du *Limousin*, à surface ondulée, aux sommets généralement arrondis, et celui de l'*Auvergne*, que dominent les hautes cimes volcaniques du *Cantal*, des *monts Dores* et du *Puy-de-Dôme ;*

Les chaînes granitiques du *Pilat*, de la *Lozère* et de l'*Aigoual:* celle de la *Margeride* qui va se fondre dans les granites du Cantal, et la chaîne du *Tanargue* dont les hautes sommités dominent le *Vivarais*, qu'accidentent encore de nombreuses éruptions basaltiques ;

Enfin les chaînes du *Beaujolais* et du *Forez*, particulièrement caractérisées par un développement considérable de porphyres et de schistes amphiboliques ou métamorphisés.

Dans tous ces reliefs, on retrouve les nombreuses variétés du granite, les granites porphyroïdes à gros cristaux et à grains fins, les granites albitiques et amphiboliques, la syénite, la leptynite et l'eurite.

Les porphyres forment des crêtes saillantes ou des sommités abruptes, et parmi eux on distingue les porphyres rouges et quartzifères, les porphyres amphiboliques et une foule de roches d'aspect porphyroïde qui ne sont probablement que le résultat du métamorphisme de grès et de roches stratifiées préexistantes.

Les roches dioritiques et les serpentines y constituent de nombreux amas ou des dykes qui surgissent au travers des gneiss ou des micaschistes, et on les trouve en général à la séparation des terrains anciens et des terrains secondaires.

Les intervalles que ces chaînes ou ces reliefs divers laissent entre eux sont remplis, dans le bas des grandes vallées, comme celles de l'Allier et de la Loire, par des terrains tertiaires, et partout ailleurs, par des schistes cristallins, par les schistes de transition ou carbonifères, souvent recouverts eux-mêmes par des calcaires et des roches secondaires.

Toute cette contrée est sillonnée par de nombreux dykes quartzeux, affectant généralement la direction N. O. S. E., et des sources thermales diverses se montrent en un grand nombre de points.

Sans entrer dans d'autres détails géologiques, on peut déduire des quelques mots que nous venons d'exprimer, quelque insuffisants qu'ils paraissent être, que toute cette contrée doit être essentiellement métallifère.

C'est, en effet, ce que démontre jusqu'à l'évidence l'examen des lieux qui met sous nos regards une foule de travaux anciens exécutés pour l'extraction des métaux, abandonnés pour la plupart aujourd'hui, oubliés et, pour ainsi dire, inconnus.

C'est ce que démontrent encore la vue des restes d'anciennes usines, les tas de scories disséminés dans les ravins ou sur les plateaux, ou les noms des lieux qui rappellent le souvenir d'une vie industrielle perdue

Dans l'ouest du plateau central, nous voyons, en effet, les nombreuses traces de travaux gaulois ou gallo-romains, où l'on tirait l'or et l'étain ; dans les montagnes du Beaujolais et du Lyonnais, les mines anciennes de Jacques Cœur, et autour des massifs granitiques ou au milieu d'eux un nombre considérable de gisements de cuivre, de plomb et d'argent, plus ou moins travaillés par les anciens.

Malgré cette multitude de travaux d'époques diverses, on ne peut guère citer aujourd'hui (1873), dans le plateau central, qu'un très-petit nombre d'entreprises minéralurgiques : celle de *Vialas*, dans la Lozère : de *Pontgibaud*, dans le Puy-de-Dôme, de *Villefranche*, dans l'Aveyron, de *Chessy et Sainbel* dans le Rhône, en sont les principales. Elles suffisent pourtant pour démontrer que ces contrées possèdent des richesses utilisables, malgré l'accroissement de la main-d'œuvre, dont on a tant parlé, et que la persévérance remarquable dont ces entreprises ont donné la preuve est la première et la plus essentielle des conditions nécessaires pour le succès.

Pendant plusieurs siècles, la plupart de ces mines ont été dans un abandon presque absolu, et l'on pouvait croire que cet abandon était motivé par leur stérilité, par le peu de valeur des gisements ou par l'impossibilité de les exploiter en présence de nouvelles circonstances économiques; mais les entreprises dont nous venons de parler démontrent à l'évidence qu'il faut l'attribuer à des causes différentes que nous retrouverons dans l'absence des voies de communication, dans l'éloignement du combustible, et surtout dans l'histoire même du pays.

Si, en effet, nous esquissons rapidement ce que furent ces contrées dans le passé et les principaux événements qui s'y sont accomplis, nous voyons que bien que formées anciennement de peuples divers, dont la plupart n'ont été annexés à la France que depuis le quinzième ou le seizième siècle; elles ont été, dans tous les temps, soumises aux mêmes conditions politiques; elles ont supporté toutes les misères et tous les fanatismes, et leur territoire a été bien souvent le théâtre des drames les plus effrayants dont le souvenir nous explique en grande partie, sans même entrer dans d'autres considérations, les circonstances malheureuses qui durent affecter plusieurs fois l'industrie minérale et en interrompre l'activité.

Après les luttes qu'avaient soutenues les Gaulois contre l'invasion étrangère, sous la conduite d'un héros d'Auvergne, Vercingétorix; quand le calme renaissait sous l'influence des institutions puissantes qu'y avaient apportées les Romains victorieux, ces contrées purent voir s'exploiter les mines qu'elles possédaient ; suivant toute apparence, de grands travaux y furent exécutés à cette époque, mais à la fin de l'Empire les exactions des préfets exercèrent sur les populations une action si funeste que, d'après l'historien dom Vaissette, dans l'Auvergne, le Gévaudan et le Rouergue, pays de mines par excellence, la plupart des habitants

étaient résolus à quitter le pays, à l'abandonner, et à se retirer dans d'autres provinces.

A cette même époque, la Société gallo-romaine, profondément minée par le système administratif impérial, avait préparé l'arrivée prochaine des barbares, qui bientôt portèrent partout le pillage, la ruine et la dévastation. Telle fut, sans doute, la cause d'une première période de trouble et peut-être d'abandon dans l'industrie minérale.

Plus tard, après les siècles d'anarchie qui suivirent le démembrement de l'empire de Charlemagne; les mines reprirent, sans doute, une grande activité pendant le douzième et le treizième siècle, mais celles d'entre elles qui pouvaient être poursuivies, malgré l'imperfection des moyens ou l'approfondissement des travaux, durent être troublées par des événements funestes qui, se répétant, durent en déterminer forcément l'abandon. Ces contrées eurent en effet à supporter la guerre des Albigeois, la Jacquerie, les luttes pour l'indépendance du territoire et la guerre de Cent ans avec toutes ses ruines; l'Auvergne, les Cévennes, le Limousin, le Poitou furent ravagés. Après avoir encore supporté, vers le quinzième et le seizième siècle, les impôts excessifs, les disettes et les famines, l'explosion des guerres religieuses, les massacres de la Saint-Barthélemy qui en furent la suite, ces provinces durent subir aussi, sous le règne de Louis XIII et sous celui du grand roi, les dragonnades et les tortures de toutes sortes qui s'exercèrent durant de longues années.

Tous ces fléaux qui se succédaient suffisaient bien pour causer l'abandon, sinon de toutes les mines, au moins celui de la plupart d'entre elles. Elles se remplirent d'eau et de décombres, leurs orifices furent bientôt perdus dans les broussailles; elles offrirent pour leur reprise des difficultés croissantes, et finirent par être tout à fait délaissées et complétement oubliées, sans que les richesses qu'elles pouvaient renfermer fussent épuisées.

Il y a donc lieu de croire que si quelques-unes de ces mines ont été abandonnées dans les siècles passés, lorsque les moyens dont on disposait étaient devenus impuissants et insuffisants, d'autres l'ont été aussi par suite d'événements absolument indépendants de leur richesse ou de la fluctuation des prix de main-d'œuvre et des métaux.

Dans le cours du siècle actuel, l'absence presque absolue de chemins et la privation ou l'éloignement des bois et du combustible expliquent l'insuccès de nombreuses tentatives ou le petit nombre des entreprises qui ont pu poursuivre avantageusement leurs travaux.

Enfin, en voyant aujourd'hui les voies de communication pénétrer de plus en plus dans ces montagnes, et en réfléchissant à l'effet des forces puissantes que l'on possède, il est permis de penser qu'un grand nombre de mines anciennes, abandonnées encore dans les temps présents, peuvent être reprises avec avantage et fournir au commerce une part importante des métaux qui lui manquent.

Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails au sujet des intéressantes questions que suggère l'étude de l'industrie minérale dans ces contrées, et nous allons exposer, aussi exactement que nous le pourrons, l'historique et l'état des mines métalliques que nous connaissons dans les départements dont nous avons donné les noms, qui comprennent les montagnes du centre de la France.

GROUPE DU MORVAN.

Le Morvan embrasse une partie des quatre départements de la Nièvre, Yonne, Côte-d'Or et Saône-et-Loire; c'est un groupe de montagnes, situé sur la rive droite de la vallée de la Loire, qui se relie, d'une part, aux chaînes accidentées dont le prolongement méridional traverse le Beaujolais et le Lyonnais, et, de l'autre, aux sommets de la Côte-d'Or, au plateau de Langres; on peut le considérer comme le prolongement relevé des montagnes granitiques du plateau central, et, ainsi que le dit M. Collenot[1], comme un cap avancé de ces montagnes au milieu des terrains sédimentaires.

Si on l'examine au point de vue géologique, on reconnaît qu'il est essentiellement formé d'un groupe central porphyrique, aux sommets coniques, découpé par de profondes vallées, paraissant surgir du sein des roches granitiques, et son ensemble, s'abaissant peu à peu, va disparaître, au nord comme au midi, à l'est et à l'ouest, au-dessous des terrains paléozoïques ou secondaires de l'Yonne, de la Côte-d'Or, de Saône-et-Loire et de la Nièvre.

Les porphyres y sont recoupés par des filons d'eurite et de roches trappéennes, généralement formées de feldspath, pyroxène, amphibole, quelquefois de mica, et ils lancent des ramifications au milieu des granites. A leur contact avec ces derniers, on rencontre des roches modifiées passant à l'eurite, à la minette, à la diorite, et des filons de barytine et de fluorine avec galène[2]; enfin, les granites sont eux-mêmes souvent traversés par des filons de pegmatite et de leptynite.

Les gneiss et les micaschistes se trouvent à l'entour du Morvan; les terrains silurien et devonien paraissent y exister aussi, mais leur position n'a pas encore été déterminée d'une manière suffisamment précise.

Cette contrée est sillonnée par de nombreux filons quartzeux, et l'on y voit de fréquentes infiltrations siliceuses qui, traversant les granites, pénètrent et imprégnent, en plusieurs points, les couches triasiques ou liasiques superposées ; on n'y connaît pourtant, jusqu'à présent, qu'un très-petit nombre de gisements métallifères proprement dits.

1. *Géologie de l'Auxois*, 1873.
2. Collenot.

Département de la Nièvre.

Gisements connus ou indiqués :

Saint-Didier, plomb et argent. Travaux anciens inconnus.
Chitry-les-Mines, plomb et argent. Travaux anciens très-développés.
Marigny, plomb et argent. Travaux inconnus.
Saint-Reverien, plomb et argent. Recherché en 1822. Gîte quartzeux.
Saint-Saulges, plomb et argent. Recherché en 1838. Galène dans le granite.
Sancy, plomb et argent. Recherché en 1785. Galène à 0,005 d'argent (Comptes rendus, 1846).
Clamecy, cuivre et argent. Inconnu.
Monceau-le-Comte, cuivre et argent. Inconnu.
Champallement, plomb et argent (Statistique de l'arrondissement de Clamecy).
La Chaise, plomb et argent dans le granite.
Gluc, galène pauvre, rognons. Découvert en 1782. Peu travaillé (Comptes rendus).
Crieur, commune d'Aunai, galène disséminée dans le calcaire jurassique (Comptes rendus).
Aligny, plomb. Anciens travaux.

Le Nivernais, si remarquable d'ailleurs par les souvenirs celtiques et gallo-romains qu'il présente encore aujourd'hui, a dû être, dans les temps anciens, l'un des centres actifs de la France pour l'industrie minérale. Non-seulement les mines de fer y abondent et montrent, dans beaucoup de localités, les traces d'anciennes exploitations, à côté ou au milieu des exploitations du siècle actuel, mais on peut y voir encore les vestiges de mines abandonnées depuis des siècles, de plomb argentifère.

La ville d'Entrains, qui fut jadis une ville de premier ordre où venaient aboutir cinq voies romaines, qui a subi, comme toute la contrée environnante, les désastreux effets des invasions, des convulsions politiques et des guerres de religion sous les Valois ou plus tard, existe au milieu d'un territoire où les noms de miniers rappellent l'existence d'anciennes exploitations. En 1872[1], on y découvrit une plaque de bronze dont l'inscription rappelait le souvenir d'une corporation d'ouvriers en cuivre du cinquième siècle, et en 1839 on avait trouvé un grand nombre de vases et de chaudrons en cuivre, de diverses grandeurs, qui semblaient attester déjà que, dans ces temps éloignés, de même que dans le Rouergue, l'industrie métallurgique, et surtout celle du cuivre, était l'une des industries importantes du pays.

1. Mémoires de l'Institut. Régnier.

Le département de la Nièvre, érigé en comté depuis le dixième siècle, ne fut annexé à la France que sous le règne de Louis XIV, et jusqu'à cette époque les comtes de Nevers entretinrent une charge de garde des mines indiquant que ces dernières devaient avoir une certaine importance.

Saint-Didier, plomb et argent, vallée de l'Yonne. — Les documents publiés par l'Administration des mines en 1846 parlent d'une ancienne mine de plomb et argent à Saint-Didier, près de Tannay, sur les bords de l'Yonne, et l'un des points où passait autrefois une grande voie romaine.

On n'y trouve plus aujourd'hui aucune trace d'exploitation, mais dans les champs voisins de l'église, on croit reconnaître des roches fragmentées qui peuvent provenir d'anciens travaux. D'autres documents indiquent que les minerais de cette localité renfermaient de l'or. On ne sait réellement rien de tout cela aujourd'hui, mais on se rappelle que, lors de la construction du canal du Nivernais qui passe au pied du pays, on trouva, il y a près de quarante ans, de la galène argentifère dans les fondations des culées de l'écluse. Les calcaires fossilifères, qui constituent en cet endroit la rive gauche de l'Yonne, ne sont probablement qu'un manteau peu épais au-dessus des granites que traversent des filons de galène, et c'est un de ces filons que l'on a rencontré pendant la construction de l'écluse.

Mine de Montceau-le-Comte, cuivre et argent. — En 1826, l'état des mines abandonnées, publié par l'Administration, signalait l'existence d'une mine de cuivre et argent à Montceau, et il indiquait en même temps la présence de scories riches en cuivre sur les bords de l'Yonne. En 1872, les scories ont disparu et on a entièrement perdu, dans le pays, toute espèce de souvenir d'aucun travail de mines. Cependant, en 1859, on devait voir encore des traces de ces scories à la surface du sol [1].

Quoique nous n'ayions pu en rencontrer en 1872, nous avons pu voir, dans les collines qui dominent la rive droite de l'Yonne, à l'endroit dit *les Brosses*, les traces d'anciens puits alignés à peu près N.-S. Nous ne saurions affirmer que c'est là la place de l'ancienne mine, mais nous pensons qu'il y aurait lieu de faire en cet endroit un examen plus étendu et des recherches plus profondes que celles auxquelles il nous était possible de nous livrer.

Chitry-les-Mines, plomb et argent. — A Chitry, sur les bords de l'Yonne, à peu de distance de Corbigny, on peut voir encore aujourd'hui les traces nombreuses d'anciennes exploitations qui paraissent avoir eu un développement considérable.

1. *Statistique de l'arrondissement de Clamecy*, 1859.

Historique. — Ces mines furent découvertes en 1492 par Jean de Bèze, dont les descendants existent encore dans le pays.

Jean de Bèze II, garde des mines du comté du Nivernais, obtint, vers cette époque, avec son fils, la concession des mines de plomb et argent de *Chitry et Chaulmont*[1] *en Nivernais et de Pontaubert en Bourgogne*.

Des lettres royales confirmèrent ces concessions jusque vers 1560, c'est-à-dire jusque vers les temps où les guerres religieuses éclatèrent dans ces contrées avec une terrible intensité.

Depuis cette époque, ces mines ont été entièrement abandonnées, et l'on en aurait perdu tout souvenir si des documents qui les concernent n'avaient été conservés, ou si on ne voyait pas encore aujourd'hui, à la surface, les traces nombreuses d'anciens travaux souterrains.

Gisement. — L'exploitation des mines de Chitry est, en quelque sorte, à cheval sur la vallée de l'Yonne, c'est-à-dire qu'elle se développe des deux côtés de la vallée et que leur gisement passe d'un bord à l'autre. Le pays de Chitry, situé sur la rive droite de la rivière et du canal du Nivernais, est creusé de toutes parts, et, sur la rive opposée, on voit, sur une étendue de plus de 1 kilomètre, des galeries descendantes ouvertes encore aujourd'hui au milieu des décombres, et les vestiges de puits comblés ainsi que des déblais en grande partie recouverts de végétation.

Des centaines de puits très-rapprochés les uns des autres, disséminés, en quelques points, sur une largeur de près de 80 mètres, indiquent une puissance de gisement considérable.

C'est, en effet, ce qui paraît résulter de l'examen des lieux :

Ce gisement, bien difficile à juger d'après les traces extérieures, à cause de la végétation qui en recouvre les parties les plus étendues, paraît consister en un puissant dyke quartzeux courant, dans la direction générale N. E. S. O., au travers des granites.

Ce dyke apparaît sur les bords de l'Yonne, et on voit encore, au milieu des mêmes granites, des infiltrations siliceuses qui ont été également l'objet de recherches anciennes et semblent indiquer l'existence d'un grand nombre de ramifications.

Aucune trace superficielle du gisement ne semble apparaître sur la rive droite, dont les coteaux sont partout cultivés.

Le quartz, qui constitue la gangue principale du dyke métallifère de cette contrée, dont on voit les nombreux fragments extraits pendant l'exploitation du seizième siècle, est plus ou moins compacte, souvent carié, zoné et pénétré de fer oxydé qui doit signaler dans la profondeur la présence de la pyrite.

1. Il est probable qu'il s'agit là non pas de Chaulmont ou Chaumont, mais de *Chomot* qui se trouve à peu de distance de Chitry sur le prolongement du gisement métallifère. Cependant la carte de Cassini indique entre Clamecy et Entrains un pays du nom de Chaumont.

Minerai. — Il consistait particulièrement en galène argentifère qui, d'après les Comptes rendus des ingénieurs de 1846, avait une teneur de 0,0012 d'argent, ou 120 grammes aux 100 kilos.

Dans l'état actuel des choses, il est difficile de distinguer, au milieu des déblais, si d'autres minerais argentifères, tels que du cuivre gris, des ocres, des blendes, etc., étaient associés à la galène.

Non loin des travaux, à la ferme du Bouquin, on retrouve des restes d'épaisses murailles. Ce sont évidemment les ruines des anciennes constructions minières; c'était là que se trouvait l'administration comme dans une sorte de forteresse.

La fonderie était sur l'Yonne, non loin de Chitry, au lieu dit, encore aujourd'hui, *le Martinet*. Il n'y reste plus aucune espèce de construction; mais, il y a trente ou quarante ans, quand on construisait le canal, on pouvait voir encore les derniers débris de l'établissement des de Bèze, où étaient probablement fondus la plupart des minerais de la vallée.

Ce que nous venons de dire de la mine de Chitry, et l'étendue des travaux sur les deux versants de l'Yonne, suffit pour donner une idée de l'importance que cette exploitation a pu posséder pendant près d'un siècle.

La fortune de ces mines a pu éprouver des fluctuations diverses, car nous voyons, en 1519, un édit de François I[er] faisant remise aux mines de Chitry de la quantité de 500 marcs d'argent, soit une somme de plus de 20,000 francs, au prix du marc de 41f,76, calculé poids pour poids en notre monnaie actuelle, qu'elles devaient remettre probablement pour redevance, et correspondant au moins à une production de 5,000 marcs, ou plus de 1,200 kilogrammes d'argent.

La production annuelle paraît avoir été de 1,000 à 1,100 marcs d'argent et 100,000 livres de plomb.

Ces chiffres nous sont fournis par les anciens métallurgistes et on remarquera que s'ils sont exacts, la teneur du plomb en argent serait beaucoup plus élevée que celle que nous avons donnée plus haut.

D'après les mêmes auteurs on voit que la famille de Bèze, concessionnaire des mines, faisait les plus grands efforts pour développer l'art des mines. Elle faisait instruire les habitants et avait formé une sorte d'école technique. De plus, elle intéressait les ouvriers dans l'exploitation. Ceux-ci, formés en compagnies, travaillaient pour leur propre compte. Ils recevaient 8/10 des produits pour leur salaire; les de Bèze prélevaient 5/60 pour l'entretien des machines, fonderies, intérêt d'argent; 1/60 était donné aux officiers et 1/10 pour le roi[1].

Ce système d'association résultait très-probablement, ainsi que nous l'avons déjà dit, d'usages antérieurs, car on le retrouve sur d'autres

1. Nous rappellerons ici l'observation que nous avons faite p. 95, tendant à montrer que ce mode de travail rendait le salaire, à cette époque, et la main-d'œuvre, plus élevés que dans le siècle actuel.

points, comme en Alsace, et, dans le douzième et le treizième siècle, il était particulièrement appliqué aux mines de l'Italie. Il explique la multiplicité des travaux ouverts près de la surface, et il peut nous donner lieu de croire que ces travaux ne descendent pas à une profondeur bien grande au-dessous de la vallée de l'Yonne.

Il nous sera donc permis d'admettre, comme on l'a déjà exprimé, que les mines de Chitry renferment encore bien des richesses minérales, et nous les considérerons comme appartenant à un faisceau métallifère d'une grande étendue digne d'attention, en raison de ses caractères et de sa situation rapprochée tout à la fois d'un cours d'eau, d'un chemin de fer et du canal du Nivernais.

Champellement et *Saint-Reverien*. — Ces gisements paraissent se trouver sur le prolongement de celui de Chitry, et rien ne s'opposerait à ce qu'en effet ils appartinssent au même groupe métallifère.

La Chaise. — Inconnu. Signalé dans la statistique de l'arrondissement de Clamecy comme un gîte en filon dans le granite. Les veines de galène y ont de 6 à 9 centimètres de puissance.

Marigny. — Sur l'Yonne. Anciens travaux d'après la tradition.

Clamecy, cuivre et argent. — On ne connaît aujourd'hui aucune mine métallique d'aucun genre aux environs de Clamecy, mais le territoire de cette contrée est formé par des roches secondaires qui s'appuient généralement sur des granites et des porphyres, et l'on trouve au milieu d'elles de nombreux indices de galène, cuivre carbonaté, chaux fluatée, baryte sulfatée, etc. On considère généralement ces indices comme des disséminations qui ne sont pas susceptibles d'être utilement exploitées.

Cependant, nous devons rappeler qu'en 1795 [1] on vint annoncer à la Convention qu'une mine de cuivre venait d'être découverte aux environs de Clamecy.

Nous savons, en outre, que Hautin de Villars, dans un Mémoire écrit en 1712, cite la mine de Clamecy, dans le Nivernais, comme mine de cuivre tenant or et argent. Il la qualifie de mine *calichale*, selon l'expression d'Alonzo Barba, c'est-à-dire comme des meilleures.

Il est possible qu'il s'agisse de la mine de Montceau; dans tous les cas, on ne peut nier qu'il n'y ait là des études intéressantes et peut-être utiles à faire, que justifierait d'ailleurs le voisinage des granites et des porphyres.

Saint-Saulge. — La mine citée dans cette localité se rapporte au massif porphyrique qu'on y rencontre.

1 *Moniteur*.

Mine d'Aligny, plomb, argent. — Cette mine est située près du hameau de *la Place*, commune d'Aligny, canton de Montsauche (Nièvre), à environ 40 kilomètres des confins de la Côte-d'Or.

La tradition rapporte que les seigneurs d'Aligny firent ouvrir cette mine et qu'ils l'abandonnèrent comme trop peu productive. Il y a peu d'années, on y voyait encore une longue galerie.

Cette contrée possède plusieurs filons de baryte et de chaux fluatée[1] avec galène, traversant des porphyres recoupés eux-mêmes par des roches trappéennes.

Les conditions actuelles pour le transport et les moyens d'extraction et de forage que l'on possède aujourd'hui pourraient peut-être permettre la reprise de cette mine.

Nous devons rappeler encore que les porphyres de la Nièvre sont traversés par de nombreux filons ferrugineux. Quelques-uns d'entre eux, à *Château-Chinon*, *Arleuf* et *Champrobert*, ont été explorés pour l'extraction des minerais de fer, mais ces travaux ont été abandonnés à cause des qualités sulfureuses des minerais. Il paraît probable que ces gisements appartiennent à des filons pyriteux ou renfermant d'autres substances métalliques sulfurées dans la profondeur.

Département de l'Yonne.

Gisements indiqués ou connus :

Environs d'*Avallon*, plomb. Nombreux filons.
Pontaubert, plomb, argent. Travaillée dans le seizième siècle.
Vault, plomb, argent.
Vallée de la *Cure*, indices métallifères.

Département de la Côte-d'Or.

Environs de *Semur*, plomb, argent. Filons explorés vers 1832.

Les mines que l'on connaît dans l'Yonne, comme dans la Côte-d'Or, sont généralement considérées comme de peu de valeur et non susceptibles de permettre qu'on en tire un parti industriel.

Aux environs d'Avallon, de nombreux filons quartzeux existeraient vers la limite du granite et des calcaires jurassiques, surtout développés dans le granite; mais les études récentes de M. Collenot n'y reconnaissent que des disséminations de barytine, de fluorine, de galène, d'azurite, etc., qui, d'après ce géologue, n'offrent que très-peu d'importance[2].

1. Collenot. *Géologie de l'Auxois.*
2. *Ibidem.*

Il en serait de même aux environs de Semur, dans la Côte-d'Or, où se présenteraient des roches silicifiées, comme en beaucoup d'autres points sur les pentes du Morvan, auxquelles M. de Bonnard avait donné le nom d'arkose.

Ce sont des productions métallifères analogues à celles que l'on rencontre dans la vallée de *la Cure*, où des minerais de plomb, disséminés dans la roche, travaillés à une certaine époque, ont laissé, comme traces des travaux et de leur existence, des poches et des grottes semblables à celle de Pierre-Perthuis, citée par M. Élie de Beaumont[1]; mais ce savant géologue fait remarquer que le quartz hyalin présente, dans l'assise siliceuse exploitée, un réseau irrégulier de veines de toutes inclinaisons, dont les veines verticales sont souvent le prolongement direct de filons de même nature coupant le granite qu'elle domine, et y formant un réseau assez compliqué.

Mine de Pontaubert. — Cette mine paraît avoir été travaillée dans le seizième siècle par les de Bèze, concessionnaires des mines de Chitry. M. Collenot[2] ne signale en cet endroit que la présence de couches silicifiées; mais le granite étant visible au-dessous de ces couches sur la rive droite du Cousin, il n'est pas impossible qu'on n'y ait exploité des filons analogues à ceux dont nous venons de parler et de même nature que ceux de Chitry.

Il est, d'ailleurs, digne de remarque que Pontaubert est situé à peu près dans la direction de ceux de ce dernier pays.

On peut donc regarder comme un fait certain, déjà du reste signalé par les géologues, que de nombreux filons quartzeux existent dans les gneiss, les micaschistes et les granites de ces contrées, mais on ignore jusqu'à quel degré ils sont métallifères, et ils paraissent peu susceptibles d'être travaillés utilement.

Département de Saône-et-Loire.

Ce département, connu depuis longtemps par ses mines de fer, et surtout par ses riches bassins houillers du Creusot, Blanzy, Épinac, ne paraît posséder que peu de gisements métalliques proprement dits. Il est presque entièrement formé de roches secondaires et tertiaires, et c'est aux approches du Morvan, comme sur le prolongement des chaînes du Beaujolais, qu'on retrouve les roches anciennes ou porphyriques.

En 1873, les mines de manganèse seules y étaient en exploitation.

Gisements connus dans Saône-et-Loire :

1. *Carte géologique de France*, t. II, p. 278.
2. *Géologie de l'Auxois.*

Mesmon, commune de Saint-Christophe, plomb. Concession de 1828 sur 141 hectares. Depuis longtemps abandonnée (1836).

Oyé, en Charollais, filon de plomb dans le lias. Plomb 0,86, argent 0,001.

Varennes, commune d'Igé. Filons de plomb. Recherchés vers 1840. Abandonnés.

Rivaux, canton d'Autun, plomb dans le granite. Argent 0,001. Recherché en 1824 (Comptes rendus).

Vandenesse-les-Charolles, filon de plomb. Indices de mines de plomb et de manganèse.

Saint-Prix et la Grande-Verrière, plomb et argent.

Roche, commune de Rigny, deux filons. Recherches insignifiantes (Comptes rendus).

La Romanèche, manganèse. Concession de 1823 sur 499 hectares.
— — — de la vieille mine, 1829.
— — — du grand filon, 1829.

La Chapelle de Guinchay, manganèse.

Bourg-Vilain, canton de Tramayes, manganèse.

Les Écouchets, chrôme.

Rigny-sur-Arroux, hameau de la Roche, indices de mines de plomb.

Chiseuil, pyrites de fer.

Les gîtes plombeux de *Saint-Prix* et la *Grande-Verrière*, situés près des limites du département et sur les pentes du Nivernais, sont les seuls qui paraissent avoir quelque importance. D'après les Comptes rendus des ingénieurs (1846), on y connaît deux filons très-étendus, encaissés dans le porphyre.

Ils renferment de la galène argentifère, du plomb phosphaté, arséniaté, carbonaté, etc., dans une gangue de quartz et de spath fluor.

Celui de *Saint-Prix*, commune de Saint-Prix-sous-Beuvray, sur la montagne de Gamay, à la limite de Saint-Prix et de Glux (Nièvre), anciennement exploité, est connu sur 300 mètres. Les travaux, repris en 1858, ont été abandonnés à cause de l'abondance des eaux.

Le filon de la Grande-Verrière est reconnu sur 750 mètres. Sa puissance est de 1 mètre. Ces filons furent découverts en 1776. Travaillés de 1785 à 1796, « la mort d'un des exploitants et la politique arrêtèrent tout. »

Quelques tentatives insuffisantes furent faites depuis cette époque.

La Romanèche. — Les mines de manganèse se trouvent au pied des collines qui bordent la Saône, à l'extrémité méridionale du département et sur le prolongement des montagnes du Beaujolais. Elles furent découvertes vers 1750 et, depuis cette époque, elles ont été continuellement travaillées avec plus ou moins d'activité dans les concessions qui se développent sur l'étendue des affleurements.

En 1869, les mines de Saône-et-Loire, représentées presque exclusivement par celles de Romanèche, avaient produit 3 204 tonnes d'excellent minerai après avoir extrait plus de 7 000 tonnes en 1866, 3 700 en 1868.

En 1872, leurs produits ne s'étaient pas élevés quoique le manganèse fût alors plus recherché qu'il ne l'avait jamais été. Cette situation, après plus d'un siècle de travail, paraissait provenir de l'épuisement de quelques parties du gîte, et surtout de la transformation, dans la profondeur, du minerai qui, sur quelques points, paraissait alors passer insensiblement à un minerai de fer sans que le gisement perdît de son importance ou de son épaisseur.

Ce gisement est placé au contact d'une roche granitoïde et des grès et argiles du lias, dont les couches peu inclinées viennent s'appuyer sur elle.

Il présente, dans son ensemble, deux branches parallèlement inclinées, presque verticales, séparées par une bande étroite de granite et surmontées d'une couche d'argile qui constitue la salbande du toit. C'est sur cette argile que viennent buter les couches du lias.

Enfin il montre, en quelque sorte, des épanchements de manganèse dans l'intérieur de ces couches et parallèlement à leur stratification, qui se prolongent jusqu'à environ 100 mètres de distance.

La *direction* moyenne du gîte est N. S. Son *inclinaison* 72° à l'E.

Puissance. — Les deux bandes dont nous avons parlé offrent un point de réunion où la puissance atteint jusqu'à 12 mètres; mais cette puissance paraît aller en se rétrécissant avec l'accroissement de la profondeur. Elle atteint peu à peu l'épaisseur de $1^{m},50$ à 2 mètres, qui est l'épaisseur normale.

Le minerai est accompagné de baryte sulfatée et quelquefois de spath fluor. On l'a trouvé quelquefois accompagné d'arsénio-sidérite.

Jusqu'en 1872, d'après les renseignements qui nous ont été fournis, les travaux de la mine la plus importante n'avaient pas pénétré à plus de 50 mètres de profondeur, mais le gisement a été reconnu sur plus de 80 mètres.

Si cette transformation du minerai, dont nous avons parlé, est réelle et si elle devenait générale sur toute l'étendue du gîte, il est probable que la mine de manganèse de Romanèche verrait, à un moment donné, qu'il est désirable de voir éloigné le plus possible la fin de son exploitation actuelle pour la destination qu'elle a eue jusqu'à présent. Sera-t-elle remplacée par une mine de fer qui, au-dessous d'elle, montrera des sulfures métalliques autres que le manganèse et le fer? et, dans le cas où cette nouvelle transformation aurait lieu, à quelle profondeur pourra-t-on la constater? Telles sont les questions que suggère l'examen du gîte de manganèse de Romanèche dans son état actuel, et ces questions offrent, à tous les points de vue, un certain intérêt.

La *Chapelle*, peu éloignée de Romanèche, présente des gisements de manganèse analogues, mais moins puissants. On y a fait des travaux dans ces derniers temps.

Les Écouchets, chrôme. — Ce gisement, situé à peu de distance du Creusot, n'a jamais pu, autant que nous le sachions, être avantageusement utilisé. Il a semblé être signalé plutôt comme objet scientifique que comme gîte industriel.

Chiseuil. — On y travaillait en 1873 un puissant gisement ferrugineux dans lequel on recherchait particulièrement la pyrite de fer, placée au-dessous des oxydes. D'importantes découvertes paraissent y avoir été faites.

MARCHE ET LIMOUSIN.

Les trois départements de la Haute-Vienne, la Creuse et la Corrèze embrassent presque entièrement les deux anciennes provinces de la Marche et du Limousin.

La première de ces deux provinces ne fut définitivement réunie à la couronne de France qu'en 1525, et la seconde lui appartenait déjà depuis 1369.

L'ensemble de ces départements est particulièrement formé des granites, gneiss et micaschistes qui constituent l'extrémité occidentale du plateau central. Les roches secondaires, très-développées dans le Poitou, l'Angoumois et la Guyenne, viennent se relever sur les pentes extrêmes des reliefs granitiques ou schisteux, et la ligne de contact de ces divers terrains passe près des limites des départements voisins de la Vienne, de la Charente et de la Dordogne. Des amphibolites et des serpentines, comme à Roche-l'Abeille, se montrent en quelques points.

Dans toute cette contrée, les montagnes ne présentent pas, comme dans la Lozère ou la Haute-Loire et dans tant de localités granitiques, des flancs rudes, alpestres et déchirés : ces montagnes sont généralement peu élevées ; on sent que tout ce groupe montagneux du centre de la France s'abaisse vers l'ouest, pour disparaître bientôt au-dessous des terrains plus récents qui vont le recouvrir, et ses sommités ne présentent plus que des croupes arrondies couvertes de végétation. Le granite y est, pour ainsi dire, presque partout friable et en perpétuelle décomposition.

Presque tout ce pays a été, pendant des siècles, considéré comme dépourvu de substances métalliques autres que le fer ; mais il y a bien des années qu'il est connu dans l'industrie moderne, et les filons quartzeux

qui le sillonnent sont autant de témoins accusant la possibilité de l'existence, dans leur voisinage, de filons et de substances minérales utiles.

En effet, c'est dans la Haute-Vienne, aux environs de Saint-Yrieix, que fut découvert, en 1765, le célèbre gisement de kaolin où sont venues s'alimenter les fabriques de porcelaine de Sèvres, de Limoges et de Paris, et ses produits ont été répandus dans le monde entier.

Les nombreux filons de quartz qu'on y rencontre dressent leurs crêtes au-dessus du terrain granitique qui les enveloppe. Ces filons courent généralement dans la direction N. O.-S. E.; leur puissance comme leur étendue sont considérables; suivant toute apparence, ils se rattachent à un système général auquel appartiennent la plupart des filons quartzeux du centre de la France, et ils se relient d'une manière intime à des productions métalliques souterraines que nous ne connaissons pas.

Près de Bourganeuf, dans la Creuse, un de ces filons, composé de quartz blanc, fibreux ou radié, a 30 mètres de puissance et plusieurs kilomètres de longueur.

On en peut voir un grand nombre qui n'ont pas moins de 5 à 20 mètres de puissance, et parmi lesquels se distinguent, comme les plus remarquables, ceux de Roche-l'Abeille et de Morterolle.

L'or et l'étain paraissent avoir été, dans ces contrées, l'objet d'exploitations très-développées remontant aux époques les plus reculées, et sans doute au temps des Gaulois et Gallo-Romains.

On voit encore les traces de laveries étendues sur plusieurs kilomètres sur les rives de l'Aurance, au nord de Limoges, et les vestiges d'anciens travaux montrent combien les mines d'étain étaient nombreuses dans la Creuse et la Haute-Vienne.

On ne possède aujourd'hui, je crois, relativement à ces exploitations, d'autres documents que des médailles et des poteries anciennes qui furent découvertes en quelques points du Limousin, dans ces dernières années, au milieu des débris des excavations, et ce n'est que vers 1700 ou 1712, après bien des siècles d'oubli, que l'attention y fut de nouveau portée vers les extractions métallifères.

Les travaux de cette époque n'eurent qu'une durée presque éphémère; on les oublia encore une fois, et quoique l'étain ait été reconnu depuis, vers 1795 et 1807, c'est particulièrement après 1850 que l'on est parvenu à avoir une idée plus exacte de la grande extension des travaux anciens et de la multiplicité des gîtes.

Les études de ces derniers temps ont aussi fait reconnaître la présence de l'or; on a pu comprendre la signification des noms de pays, de lieux ou de rivières, tels que Laurière, Aurières, Aurièras, Aurance, etc., et déterminer quelle avait été la cause de ces nombreux amas linéaires et pierreux que la tradition locale, oublieuse du passé, considérait comme des retranchements de camps de César, ou comme les ruines de villes anciennes et perdues dans la profondeur des temps.

M. l'ingénieur Mallard[1], dont l'attention avait été éveillée par les découvertes faites dans l'une des chaînes montagneuses du Limousin, la chaîne de Blond, a étudié le plus grand nombre des anciens travaux de la contrée, et il arrive à ces conclusions :

« 1° A une certaine époque, le Limousin et la Marche ont possédé indubitablement, à Montebras et à Vaulry, d'assez importantes mines d'étain ;

« 2° De semblables exploitations étaient probablement ouvertes en beaucoup d'autres points de ces deux provinces, et elles expliquent ainsi les excavations que l'on y rencontre disséminées en grand nombre ;

« 3° L'or qui se trouve dans le gisement de Vaulry, dont on a signalé des traces dans celui de Saint-Léonard, a été, très-probablement, non-seulement à Vaulry, mais encore dans toutes les autres exploitations analogues, une des matières recherchées par les explorateurs ;

« 4° C'est sans doute à cette circonstance que ces excavations doivent le nom d'Aurières, nom qui s'est étendu de celles-ci aux villages voisins, et qui doit avoir été donné à ces fouilles à une époque où leur destination n'avait pas encore été oubliée ;

« 5° Le silence complet de la tradition sur le but véritable de ces travaux, leur nature exclusivement superficielle et à ciel ouvert, paraissent des raisons qui permettent de les attribuer avec vraisemblance aux Gaulois, et de supposer que le Limousin et la Marche ont été un des centres d'où nos ancêtres tiraient de l'or, qu'ils possédaient en grande quantité, et où Marseille venait approvisionner son entrepôt d'étain.

« Nous voici donc amenés à penser, ajoute M. Mallard, que ces deux provinces du centre de la France, relativement si pauvres, ont eu leur période de prospérité et ont excité peut-être la convoitise des peuplades de la Gaule à un aussi haut degré que, de nos jours, la Californie celle du monde entier. »

Aujourd'hui (1873), ni l'or ni l'étain ne forment l'objet d'aucun travail dans ces contrées, et les tentatives qu'on y a faites, à Vaulry, à Cieux, à Puy-les-Vignes, dans la Haute-Vienne, à Montebras dans la Creuse, n'ont eu pour résultat que la perte de sommes plus ou moins importantes.

On est porté à déduire de ces insuccès récents que les filons si nombreux de la Marche et du Limousin sont aujourd'hui trop pauvres pour être utilement exploités : que les minerais utiles y sont trop disséminés et qu'ils ne pouvaient être avantageusement travaillés que dans des temps où la main-d'œuvre était fournie par des esclaves ou des malfaiteurs que l'on payait à peine et quand le bois ne coûtait rien.

Pour discuter une pareille question, il faudrait connaître les lieux d'une manière plus complète que nous ne les connaissons. Nous n'avons vu que les exploitations de Vaulry et de Cieux, pendant qu'elles étaient

1. *Annales des mines*, 1866.

en activité, et celle de Montebras à la surface du sol depuis que sa destination est changée et qu'on en tire des roches fedspathiques au lieu de minerai d'étain ; mais, ainsi que nous l'avons déjà dit à l'occasion des mines de la Villeder en Bretagne, il nous sera permis de croire que l'insuccès de ces deux exploitations est insuffisant pour condamner les nombreux gisements, anciennement exploités, qui se trouvent dans les autres parties du Limousin.

Nous pensons donc, sans qu'il y ait là rien de déraisonnable, que tous les travaux exécutés jusqu'ici dans les temps récents ne représentent que des recherches incomplètes dont on n'a pas tiré tout le parti qu'on en pouvait obtenir, et qu'on ne peut les considérer que comme des indications rapprochées de la surface du sol, pouvant faire prévoir les allures des gisements au-dessous d'eux, mais n'infirmant rien relativement à leur richesse dans la profondeur, richesse qui peut notablement y augmenter.

De plus, si l'on compare les gisements d'étain de ces contrées avec ceux du Cornouailles en Angleterre, on voit qu'ils ont entre eux la plus grande analogie ; les roches qui les accompagnent et les caractères qui les distinguent sont les mêmes ; or, en Angleterre, lorsque l'on eut épuisé les sables stannifères qui, dans les siècles passés, fournissaient l'étain que réclamaient les besoins d'une partie de l'Europe ; lorsque, vers le dix-septième siècle, on commença à attaquer les filons eux-mêmes, on fut, au début, bien loin des succès obtenus plus tard. Pendant bien des années, dit M. Watson[1], les mines, considérées dans leur ensemble, n'ont donné que des pertes. Il a fallu que le gouvernement protégeât l'industrie minière de l'étain pendant longtemps, de toutes les manières et surtout en maintenant des droits qui permettaient aux exploitants de vendre ce métal à un prix rémunérateur. Si les Anglais n'avaient pas eu plus de persévérance que les Français n'en ont eu dans les tentatives faites dans le Limousin, comme en Bretagne, ils auraient assurément perdu les sommes engagées déjà et les bénéfices considérables qu'ils ont réalisés plus tard, et cette branche importante de l'industrie minérale y aurait été anéantie et oubliée.

Nous pouvons donc admettre enfin, sans faire remarquer combien encore a pu être nuisible au développement des premières recherches en France la vaste étendue des concessions accordées, que les quelques travaux qui ont été faits, disséminés presque à la surface du sol, paraissent insuffisants, même pour les lieux où ils ont été appliqués, et qu'il n'est pas possible, jusqu'à nouvel ordre, d'en rien déduire de défavorable relativement aux autres gisements du Limousin.

La question de l'étain dans cette partie de la France nous paraît donc rester entière tant que de nouvelles études n'y auront pas été faites et,

1. *English Mining Journal*, n° 692. Wealth of the United State, Whitney.

surtout, tant que l'on n'aura pas pénétré à des profondeurs plus grandes que celles auxquelles on est parvenu de nos jours.

Département de la Haute-Vienne.

Principaux gisements connus :

Vaulry et *Cieux*, étain. Concession de 1867 sur 7,412 hectares.

Puy-les-Vignes, wolfram. Concession de 1863 sur 1,108 hectares.

Glange, plomb et argent.

Vicq, *Saint-Hilaire-Bonneval*, *Fargeas*, plomb et argent.

Saint-Léonard et environs. *Mondelisse*; étain.

Ambazac, étain.

Beaune, étain.

Couseix, étain.

Amières, au sud de Chaptelet, étain.

Près du *Couret*, étain.

Au sud de la *Jonchère*, étain.

Saint-Sulpice-Laurière, étain.

Entre *Janaillac* et la *Roche-l'Abeille*, étain.

Entre *Chalard* et *la Vigne*, étain.

Glandon et *Coussac-Bonneval*, antimoine. Travaux assez considérables de 1790 à 1812, mal dirigés, non épuisés. (Comptes rendus.)

Peyrat, près Eymoutiers, mercure, globules dans le granite. (*Id.*)

Mines de Vaulry et Cieux, étain. — Vers 1793, l'oxyde d'étain avait été reconnu dans la Haute-Vienne, à *Puy-les-Vignes;* en 1812, un second gisement fut découvert, entre *Bassines* et *Morterolle*, par le maître mineur Schot de Schnéeberg, et une année plus tard, en 1813, l'étain était signalé par M. de Vihelume, au sud de *Bellac*, dans la chaîne de Blond et sur ses deux versants. À cette époque, M. de Cressac montra que des travaux considérables avaient été anciennement exécutés sur ces divers gisements.

A Vaulry, dans la vallée de la *Glayeule*, l'emplacement qu'occupent les filons présente, en effet, un croisement de tranchées larges et profondes, remplies de déblais et de décombres, ou des excavations alignées et se croisant dans deux directions N. O. et N. E. On les avait considérées pendant longtemps comme les ruines d'une ville détruite, comme une ville de pierres, *Villa-Doulper ;* mais la présence de l'étain et du wolfram indiquait leur véritable destination.

Il n'y eut plus aucun doute à cet égard quand on trouva dans les environs des scories dont quelques-unes renfermaient jusqu'à 21 pour 100 d'étain.

M. de Cressac évaluait à 400,000 mètres cubes le vide superficiel des

travaux anciennement ouverts dans ces lieux, entre les hameaux de la *Garde* et de la *Tournerie*.

Plus tard, on reconnut de nouveaux filons, et on constata que les alluvions des vallées renfermaient tout à la fois l'oxyde d'étain et l'or en quantité palpable.

En visitant ces lieux en 1860, nous avons pu constater ce fait, et lorsque l'on regarde avec quelque attention le fond des vallées aux environs de Cieux, il est facile de croire que des quantités importantes d'or et d'étain se trouvent encore aujourd'hui dans les alluvions qu'elles renferment.

Vers 1813, à l'époque du blocus continental, le gouvernement français fit exécuter dans cette localité des travaux dont on voit encore aujourd'hui les traces; ces travaux furent continués jusqu'en 1829; mais, soumis aux exigences budgétaires et poursuivis, d'une manière irrégulière, à peu de distance au-dessous de la surface du sol, ils n'aboutirent, en réalité, qu'à une perte sèche de quelques mille francs et n'enseignèrent que peu de chose relativement à la richesse des gisements.

Vers 1856, de nouveaux travaux furent entrepris à Vaulry et à Cieux; des galeries et des puits, dont l'un atteignit une profondeur de 42 mètres, furent foncés; mais l'abondance des eaux, l'insuffisance des moyens d'épuisement et l'absorption du capital dans un grand nombre de travaux superficiels, ou d'essais divers, furent probablement les causes qui en déterminèrent l'abandon avant que l'on ait pu reconnaître l'état et la richesse des gisements dans leurs profondeurs.

On avait exécuté dans de bonnes conditions une laverie qu'alimentaient les eaux du grand étang de Cieux.

Filons. — Les filons stannifères qui se trouvent sur les deux versants de la chaîne de Blond traversent le granite à deux micas et une sorte de lépidolithe micacée.

Direction générale, N. 5 à 10 E.

Inclinaison, 70 à 80° à l'E.

Ces filons ou ces veines se prolongent, sans se déranger, au milieu des gneiss ou des amphibolites.

Gangue. — Les veines métallifères sont principalement composées d'un quartz grisâtre translucide, au milieu duquel se trouvent disséminés des minéraux divers. Des bandes de greisen se montrent souvent aux épontes, et il n'est pas rare de les voir, comme nous avons eu occasion de le remarquer, imprégnées de cristaux disséminés d'oxyde d'étain.

Puissance. — Elle atteint souvent 1 mètre et plus.

Minerai. — Il se trouve en blocs, en cristaux imparfaits, depuis la grosseur d'un œuf de pigeon jusqu'à celle de la tête d'un enfant, et en disséminations plus ou moins abondantes. Il est souvent associé au wol-

fram, au mispikel, fer arséniaté, cuivre natif, cuivre oxydulé terreux, molybdène sulfuré, urane phosphaté, chaux fluatée, chaux phosphatée, etc., et enfin à l'or qui, d'après M. Mallard, près de qui nous puisons la plupart de ces détails, est plus abondant à Cieux qu'à Vaulry.

Indépendamment des filons, l'étain se trouve encore dans les alluvions des vallées. Il y existe à l'état d'oxyde d'étain très-pur, accompagné de grenats, de wolfram, de fer titané et d'or. Le sable détritique qui renferme ces minerais n'est généralement recouvert que d'une épaisseur de 0,25 à 0,95 de graviers pauvres ou de terre végétale. Leur puissance, variant avec la forme de la vallée, atteint quelquefois 1 mètre. Ces alluvions ont été soumises au lavage et l'on a constaté, dans les essais dont ils furent l'objet, qu'ils renfermaient 3 kilos de minerai d'étain par mètre cube et de 120 à 1,000 grammes d'or par tonne de minerai.

Saint-Léonard. — Gisement découvert en 1795. Recherché en 1809 et plus récemment encore. Filons quartzeux dans le granite.

Direction, N.-E.

Minerai, wolfram et mispikel, oxyde d'étain. Des traces d'or ont été reconnues dans les pyrites. D'après M. de Cressac, on y trouve encore le bismuth natif, la baryte, le fer arséniaté, cuivre arséniaté. C'est là que, pour la première fois, la présence de l'étain fut constatée dans le centre de la France, pendant ces derniers temps. Quelques tentatives de reprise y ont été faites sans succès à plusieurs époques.

Mondelisse, entre Limoges et Saint-Léonard. Veines de quartz N. 10 à 20 E. dans le granite, avec wolfram, mispikel, molybdène sulfuré, scheelite, oxyde d'étain.

Groupes d'excavations anciennes où on peut admettre la présence de l'étain[1].

Couret, à peu de distance de la Jonchère. Dans le gneiss. Direction, N.-O.

Ambazac, près du hameau de Laurière. Quartz hyalin, fer oligiste dans le gneiss. Direction, N.-E.

Beaune. — Excavations présentant une sorte de front de taille de 100 à 120 mètres de développement, dans la direction N. E.-S. O. On a trouvé des scories dans les environs.

D'autres excavations sont situées sur le bord du ruisseau Léchoisier, et la petite vallée qui se trouve au bas de ces excavations est hérissée d'éminences qui peuvent bien représenter des tas formés par les stériles produits du lavage des minerais.

Amières, au sud de Chaptelet. Direction, N.-E.

1. Ces excavations ont été indiquées par M. Mallard.

Couzeix, entre *Mas-de-l'Age* et *Mas-Bourienne*, en face l'hippodrome de Limoges, un peu au sud de Couzeix. Fouilles E. 20 à 30° N. qui paraissent ouvertes sur un filon pyritifère.

Saint-Sulpice-Laurière. — Fouilles entre ce pays et la Roche.

Janailhac. — Entre ce pays et la Roche-l'Abeille, près de *Lieuras*, au milieu de gneiss très-feuilletés, série de fosses profondes alignées E. 20 N. sur 7 à 800 mètres. On trouve dans les déblais du quartz et du mispikel. Il paraît probable qu'on y a suivi un filon quartzeux pyritifère.

Lavignac, le Chalard. — Fouilles importantes et nombreuses au nord-ouest de Saint-Yrieix, au milieu des gneiss.

Les environs de Saint-Yrieix sont traversés par un grand nombre de filons de pegmatite plus ou moins kaolinisés, qui contiennent encore en assez grande abondance le *titane rutile.*

Saint-Yrieix. — De nombreux travaux ont été pratiqués anciennement près d'*Aurières* et à la *Rochette*. Les uns et les autres, dit M. Mallard, sont ouverts sur un même filon de quartz très-puissant qui n'a pas moins de 10 kilomètres de longueur, courant dans la direction E. 20 à 30° N.

Les environs de Saint-Yrieix paraissent avoir été un des centres les plus actifs pour l'exploitation des substances qu'on y extrayait alors.

D'autres fouilles se trouvent encore près de *Nouzilleras* et de *Moissac*, entre *Bassines* et *Morterolle*, etc., et on peut juger que toute cette contrée a été, dans les temps anciens, l'objet d'exploitations d'or ou d'étain importantes.

Mine de Glanges, plomb.

Les mines de Glanges sont situées à peu de distance au sud-est de Limoges; elles sont ouvertes sur plusieurs filons répandus dans les communes de *Glanges*, *Vic*, *Saint-Hilaire-de-Bonneval*, etc. De temps immémorial, les habitants vendaient aux potiers l'alquifoux de ces contrées. Des travaux réguliers y furent ouverts en 1724 et bientôt abandonnés, après avoir produit une valeur de 10,000 écus. Ils furent repris en 1762 par le marquis de Mirabeau qui, dit-on, y fit de grandes dépenses, et en 1765 on constitua une Société par actions pour leur exploitation. Travaillées encore en 1788, ces mines furent abandonnées au moment de la Révolution.

C'est dans ces lieux que se trouvait la concession accordée, en 1702, au chevalier de Rhodes. Un puits fut ouvert à cette époque à l'endroit dit *Peyra-Bruna*, sur une veine « qui paraissait de 30 pieds de large[1]. » On y cherchait l'étain et le plomb argentifère. MM. de Blumenstein et

1. Anciens minéralogistes.

Blanchet qui, dans le courant du dix-huitième siècle, exploitaient les mines du Dauphiné et du Rhône, y firent aussi quelques travaux.

Enfin, concédées en 1834, elles furent abandonnées une dernière fois.

Relativement aux travaux de M. de Rhodes, les anciens minéralogistes nous apprennent qu'ils étaient :

A *Saint-Hilaire*, où on recherchait l'étain ;
A *Tralage*, pour plomb ;
A *Fargeas*, pour plomb.

On comptait dans ces contrées plus de douze filons « qui paraissaient considérables. »

D'autres travaux étaient encore à Peyra-Bruna, ainsi que je l'ai dit plus haut. M. de Rhodes avait fait venir, pour la fonte des minerais, des ouvriers anglais, et, dit l'auteur de la lettre d'où sont extraits ces détails, il eut à combattre contre les rochers, le mauvais temps, les ouvriers qui étaient d'abord intraitables, et enfin contre les préjugés du public et ceux de ses amis.

Nadaud, cuivre panaché, commune de Saint-Sylvestre (Berthier).

Département de la Creuse.

Montebras, étain. Concession de 1868 sur 4,154 hectares.
Bènevent, étain.
Mourioux, étain.
Ceyroux, étain.
Entre *Aubusson* et *Felletin*, étain.
Mornat, plomb et argent. Concession de 1824.
Lussat, antimoine. Concession de 1824.
Villerange, antimoine. Concession de 1824.
Giobert, commune de Mérinchal, antimoine. (Comptes rendus.)
La Chirade, commune de Mainsac. (*Id.*)
Fontanière et *Retiore*. (*Id.*)

Mine de Montebras, étain. — Cette mine est située sur la commune de *Soumans*, près de Lavaufranche et du chemin de fer de Guéret à Montluçon, et la concession à laquelle elle appartient s'étend sur les deux départements de la Creuse et de l'Allier.

Elle est ouverte sur des collines granitiques peu élevées au-dessus des vallées environnantes, et l'on y voit encore les traces d'anciens travaux au milieu desquels on avait pu reconnaître la présence de l'oxyde d'étain.

Ces travaux consistent en vastes dépressions du sol et en larges tranchées alignées suivant les directions N. O. et N. E.

Ces collines sont traversées par des filons puissants de porphyre, par

des veines quartzeuses et de feldspath plus ou moins décomposé. Elles renferment la plupart des roches et des minéraux que l'on retrouve au voisinage où dans les gisements stannifères du Cornouailles, et cette analogie apparente, ainsi que l'importance des travaux anciens, y déterminèrent l'entreprise de nouveaux travaux dans le cours de 1865.

Avec le minerai d'étain, dont la présence a été reconnue en un grand nombre de points, on y trouve une grande variété de roches et de minéraux, parmi lesquels on distingue le quartz, la tourmaline, le greisen, le granulite prenant parfois l'apparende porphyrique, l'amblygonite, et des roches feldspathiques accusant les teintes verdâtres que l'on rencontre aussi fréquemmènt dans les mines de la Grande-Bretagne.

Les travaux exécutés dans cette localité ont été à peu près abandonnés en 1872, après une dépense importante. Ils consistaient, d'après ce que nous avons pu apprendre sur les lieux, en un grand développement de galeries, situées à peu près à 40 mètres au-dessous du sol, et huit puits dont l'un, destiné à atteindre une grande profondeur, alors en cours d'exécution, était parvenu à 150 mètres.

Tous ces puits étaient concentrés sur un petit espace; ils étaient munis de machines à vapeur venant d'Angleterre, et la mine était reliée au chemin de fer de Montluçon par un embranchément qui aurait presque suffi au débouché d'une mine de houille.

Une laverie d'essai était établie sur la mine même et alimentée par les eaux qu'une locomobile extrayait de l'un des puits.

Nous n'entrerons pas dans plus de détails, mais nous dirons que le minerai a été rencontré dans un grand nombre de points.

Tout ce que l'on voit à la surface tend à démontrer qu'au moment de la suspension des travaux on y était encore dans la période des recherches qui fut ainsi interrompue. On doit regretter amèrement que les fonds aient été insuffisants pour permettre de poursuivre ces travaux à la profondeur de 150 et 200 mètres, au-dessous des points nombreux où le minerai avait été rencontré dans les travaux supérieurs, ou au-dessous des travaux anciens, et que l'on n'ait pas pu établir un atelier permettant de laver des quantités importantes de roches.

Il nous sera donc permis de considérer cette mine, jusqu'à nouvel ordre, comme incomplétement poursuivie et n'ayant pas été suffisamment développée pour la production. Il serait prématuré de dire aujourd'hui qu'elle est stérile ou infructueuse.

Beaucoup de localités de la Creuse, comme celles de la Haute-Vienne, présentent les traces d'anciens travaux sur des gisements analogues. Les points principaux indiqués par M. Mallard sont les suivants :

Entre *Janaillot* et le *Soulier*, au nord de Bourganeuf, étain.

Millemilange, à 2 ou 3 kilomètres de *Jabreilles*, dans la Haute-Vienne, fouilles importantes, actuellement profondes de 8 à 10 mètres; elles constituent, dans des schistes en partie décomposés, une série de fosses

alignées N. 20 O. sur deux lignes parallèles. On en voit qui ont une longueur de 4 à 500 mètres.

Environs de *Bénévent*, *Mourioux*, *Ceyroux*, etc., fouilles au milieu du granite à mica noir.

Entre *Forgeas* et *Saint-Chartrier*, à 2 ou 3 kilomètres au sud de Ceyroux, fouilles considérables ouvertes dans le voisinage de nombreux filons de pegmatite.

Elles forment des alignements N. 10 E. et paraissent avoir suivi des filons de quartz noir imprégnés de mispikel.

Entre *Entraguet* et les *Gropes*, fouilles. Direction, N.-E.

Près de la *Ribière*, à 3 ou 4 kilomètres à l'ouest de la station de Marsac, fouilles dans le granite à mica noir.

Elles forment deux lignes profondes de fosses alignées N. 20 E., disséminées sur une longueur de 200 mètres.

On trouve au milieu des déblais le quartz et le mispikel.

Entre le hameau de la *Faye* et le ruisseau du *Piloux*, au sud de *Chamborand*, travaux anciens. La tranchée principale y est connue sous le nom de *Trou des Fées*.

Moutier-Baseille, entre Aubusson et Felletin, fosses un peu moins profondes que les précédentes, creusées au milieu du granite à mica noir. Alignées N. 10 à 15 E. sur une longueur d'environ 500 mètres. Elles paraissent faites sur un même filon quartzeux, et les déblais montrent du quartz et du mispikel.

Bien d'autres points encore présentent, dans ce département comme dans la Haute-Vienne, des vestiges d'anciens travaux. On ne sait pas d'une manière précise ce que l'on en tirait, mais on peut présumer, quelque brèves qu'aient été les descriptions que nous venons de donner et qu'on trouvera plus étendues dans les *Annales des Mines* (1866), que le principal minerai devait être l'or. On en trouve les traces dans les ruisseaux environnants, dans les noms des lieux, ainsi que nous l'avons dit plus haut, et surtout dans la nature des déblais qui sont essentiellement quartzeux et présentent des fragments de pyrite et de mispikel qui, en Californie comme en Australie, accompagnent généralement le précieux métal.

Doit-on s'étonner de ne rien savoir à cet égard, quand on pense que, depuis les Gaulois ou les Gallo-Romains jusqu'à aujourd'hui, aucune tentative n'a été faite sur ces gisements? Ceux de Vaulry, Cieux et Montebras ont été assez largement travaillés près de la surface, mais on y cherchait l'étain qui paraît y être le minerai dominant, et partout ailleurs il n'a jamais rien été fait dans le but de chercher l'or.

Pensons maintenant à la dissémination de ce métal dans les roches quartzifères; rappelons-nous que dans quelques lieux de l'Europe, comme dans le Tyrol, à Zell, on exploite des roches qui n'en renferment

pas plus de 2 à 3 grammes par tonne; qu'en Australie, comme en Californie, on en travaille qui renferment moins de 30 grammes au mètre cube, et que 100 grammes d'or, représentant une valeur de plus de 300 francs, n'occuperaient pas dans ce mètre cube un volume de plus de 5 à 6 centimètres cubes, c'est-à-dire environ 5 à 6 millionièmes du volume total.

Nous comprendrons donc facilement comment ce métal, que les anciens paraissent avoir abondamment recueilli dans ces contrées, qu'ils semblent avoir recherché dans les filons quartzeux eux-mêmes, échappe à nos regards, et comment il nous est impossible d'en déterminer la présence et la quantité autrement qu'en faisant des recherches et des analyses sur une échelle un peu grande et avec des moyens un peu puissants, recherches et analyses qui ne semblent pas avoir été faites de notre temps.

Département de la Corrèze.

Chabrignat, plomb et argent. Concession de 1869 sur 762 hectares. Travaux actuels.

Forges, cuivre. Commune de *Louignac*. Gîte abandonné à cause de son irrégularité.

Ayen, cuivre.

Yssandon, cuivre.

Ségur, étain.

Mercœur, plomb.

Moustier-Ventadour, alquifoux. Anciens travaux. Recherches récentes.

Strature, plomb et argent. Canton de Bort. Anciens travaux.

Rebeyrol, plomb et argent.

Meymac, bismuth.

Ségur.— On y découvrit de nombreux indices d'oxyde d'étain en 1795. La tradition rapporte qu'un paysan y faisait des couverts de ce métal[1].

Ce gisement ne paraît avoir été l'objet d'aucun travail depuis longtemps.

Meymac, bismuth. — Ce gisement, découvert en 1867 par M. Vény, conducteur des ponts et chaussées à Meymac, est situé sur la crête d'un contre-fort allongé de la montagne dite des Gardes, aux environs de *Meymac*. Il consiste dans une masse de quartz feuilleté presque verticale, s'inclinant légèrement de l'ouest à l'est, encaissée dans le granite.

On y trouve, disséminé en petits amas, le bismuth natif, sulfuré et oxydé. Ce dernier est le plus abondant. Il est accompagné de mispikel,

1. Comptes rendus de 1846.

de wolfram et de scheelen, que l'on rencontre dans presque tous les filons quartzeux du Limousin.

L'exploitation a eu lieu à ciel ouvert; le minerai qu'elle a fourni a été traité d'après un procédé particulier dû à M. l'ingénieur Carnot, et qui paraît satisfaire à toutes les conditions économiques désirables. Les travaux de recherche continuent à y être activement poursuivis.

Strature, non loin de *Monestier-le-Port-Dieu*, sur les rives de la Dordogne.— Cette mine est indiquée par les ingénieurs[1] comme importante et ouverte sur un puissant filon. Comme celle de Ribeyrol, elle appartient à un faisceau métallifère important qui se développe surtout à l'extrémité nord du Cantal. On y signale des travaux anciens très-étendus et on en a extrait des blocs volumineux de galène[2].

Chabrignat, arrondissement de *Brives*. — Cette mine, explorée déjà dès 1822, abandonnée et reprise dans ces dernières années, a été l'objet de travaux d'installation récents assez considérables. On y travaillait en 1873.

MONTAGNES DU BEAUJOLAIS. — **Département du Rhône.**

Cette contrée a été dans tous les temps considérée comme possédant des substances métalliques qui furent l'objet d'exploitations remontant à une haute antiquité. Les Romains y travaillaient et, durant les quatorzième et quinzième siècles, les seigneurs de Beaujeu entretenaient des officiers qui portaient le nom de *gardes des mines*. C'est aussi dans le département du Rhône que se trouvait le plus grand nombre des mines argentifères que Jacques Cœur, le grand argentier du roi Charles VII, fit exploiter jusqu'au moment de sa disgrâce, en 1451, en même temps, paraît-il, s'il faut en croire M. Poyet, que celle de Pontpéan en Bretagne et de la Coma dans le Roussillon[3].

Charles VI, dans son ordonnance de 1413, rappelle les mines de plomb, argent et cuivre du bailliage et sénéchaussée de Lyon; en 1599, Henri IV accordait le droit de rechercher « mines d'or et d'argent ès pays du Lyonnais et du Beaujolais, » et des concessions minérales, comme celle de Chessy, y furent données pendant le dix-septième siècle.

Tout incomplets que soient ces renseignements, ils suffisent pour montrer qu'à diverses époques de notre histoire il y a eu probablement de nombreuses exploitations métallifères dans les montagnes du Beaujolais et du Lyonnais, et les vestiges de ces exploitations, comme un grand

1. Comptes rendus de 1846.
2. Vény. *Lettre inédite*.
3. Poyet. *Académie des sciences de Lyon*, 1861.

nombre des affleurements des gisements travaillés, sont en grande partie aujourd'hui cachés à nos regards par la végétation.

Le département du Rhône, et particulièrement le Beaujolais qui en occupe la majeure partie, appartient au groupe montagneux situé entre la Loire et les eaux de la Saône et du Rhône. Sa surface est très-accidentée et elle ressemble, au premier abord, « moins à un vaste assemblage de vallons et de crêtes, qu'à un plateau irrégulièrement ondulé, coupé de gorges sinueuses et profondes[1]. » Géographiquement parlant, c'est, en quelque sorte, un relèvement enchevêtré des granites qui forment, au midi et au nord, les cimes du mont Pilat et du Morvan; on y distingue trois vallées principales, celle de l'Azergue, de la Brevenne et de la Turdaine, autour desquelles apparaissent la plupart des affleurements métallifères que l'on connaît.

D'une manière générale, on peut dire que ce département est presque entièrement formé de roches anciennes et plus particulièrement de granites, gneiss, de schistes et grès devoniens et carbonifères et de porphyres. Ceux-ci abondent particulièrement aux environs de Beaujeu, où ils constituent un massif important.

Partout on remarque de profondes altérations provenant de l'effet d'actions métamorphiques dont l'ensemble, conformément aux idées théoriques admises, a dû favoriser à un haut degré la formation et l'accumulation de dépôts métallifères.

Enfin on peut voir, au milieu de ces terrains divers comme au pied du mont Popey, non loin de Tarare, des filons quartzeux et barytiques puissants se reliant aux filons de même nature des montagnes du Forez, dans le département de la Loire, courant, comme eux et comme la plupart de ceux que l'on connaît dans les montagnes centrales de la France, dans la direction N. O.-S. E.

Les filons plombeux paraissent dominer dans le Beaujolais, et, quoique la plupart d'entre eux aient été délaissés depuis longtemps à cause de la faible teneur en argent de la galène qu'ils renferment, on peut les regarder comme formant l'une des principales richesses de ce pays.

Le cuivre y a été reconnu depuis les temps les plus anciens, et il n'y a que peu d'années que l'on y a constaté la présence du cuivre gris qui, accompagnant généralement les galènes, élève notablement la teneur en argent des minerais.

En 1872, on ne comptait dans le département du Rhône qu'un très-petit nombre de mines en activité, mais on y pouvait constater la présence souterraine de considérables amas de pyrites de fer formant la richesse de certaines parties de ces contrées, dont on n'aurait jamais soupçonné la puissance il y a moins de vingt ans, et qui donnent lieu de croire que les autres genres de substances, tels que galène et cuivre

1. *Géologie de la Loire*. Gruner.

gris, peuvent également montrer, dans le progrès des travaux dont ils pourront être l'objet, des concentrations plus grandes que celles qu'on a jamais connues.

Tableau des principaux gisements et mines connus dans le département du Rhône[1].

ENVIRONS DE BEAUJEU.

Ardillats, plomb, argent, cuivre. Concédé en 1862. 1,196 hectares. Filon travaillé pour la première fois en 1857.

Monsols, plomb, argent, cuivre.

Juliénas, plomb, argent.

Propières, plomb, argent. Concédé en 1828. 598 hectares. Anciens travaux.

Azolette, plomb, argent.

Les Valettes, plomb, argent, cuivre. Concédé en 1864. 513 hectares.

Chenelette, plomb, argent. Concédé en 1822. 295 hectares. Anciens travaux.

Longefay, plomb, argent. Concédé en 1825. 300 hectares.

Vernay, plomb, argent. Concédé en 1864. 524 hectares.

Lantigné, plomb, argent.

Quincié, plomb, argent.

Marchans, plomb, argent.

VALLÉE DE L'AZERGUE.

Claveysolles (Valtorte), pyrites. Recherches récentes.

Chamelet, plomb. Anciens travaux.

Letra, plomb. Anciens travaux. Plusieurs filons.

Valsonne, pyrite arsenicale. Anciens travaux.

Saint-Clément-sous-Valsonne, pyrite arsenicale.

Chessy, cuivre, pyrite de fer. Travaux anciens et modernes. Concédé en 1457, 1684 et an VII. 9,557 hectares.

VALLÉES DE LA SAÔNE ET DU RHÔNE.

Odenaz, plomb. Anciens travaux.

Vaux, plomb. Anciens travaux.

Chasselay, plomb. Ancien travaux.

Vaugneray, plomb, argent.

Chaponost, plomb. Grand filon barytique.

Entre *Givors* et *Condrieux*, nombreux filons plombeux.

VALLÉE DE LA TURDAINE.

Joux-sur-Tarare, plomb, argent. Ancienne mine de Jacques Cœur.

Mont Boussièvre, plomb, argent. Grands travaux anciens. Mines de Jacques Cœur.

1. Ce tableau ne comprendra certainement pas tous les gisements du département, mais on pourra le compléter facilement au moyen des ouvrages suivants : *Pétralogie du Lyonnais.* Dryan. — *Statistique minéralogique du Beaujolais.* Parisel, Cochar, etc.

Ferme de Valetier, plomb, argent. Grands travaux anciens. Mines de Jacques Cœur.

VALLÉE DE LA BREVENNE.

Savigny, pyrite de fer et cuivre.

Montrottier, plomb, argent. Cité par Claude Paradin (1650).

Brullioles, plomb, argent. Mine de Jacques Cœur.

Bressieu, plomb, argent. Mine de Jacques Cœur.

Pompailly (canton de Saint-Laurent-de-Chamousset). Ancienne galerie du temps de Jacques Cœur.

Sainte-Foy-l'Argentière, plomb, argent. Anciens travaux du temps de Jacques Cœur.

Chevinay, pyrite de cuivre. Anciens travaux.

Saint-Pierre-la-Palud, plomb, argent, cuivre. Mines de Jacques Cœur.

Sainbel et *Sourcieux*, pyrites de fer et cuivre. Mines de Jacques Cœur. Concédées en 1708, 1727 et an VII. 9,043 hectares. Comprend les communes de Saint-Pierre, Chevinay, Bressieu, etc.

Chambost, plomb, argent. Anciens travaux étendus. Versant de la Loire.

Saint-Laurent-de-Chamousset, antimoine et galène.

Les Espagnes, manganèse. Concédé en 1834. 440 hectares. Rognons assez abondants dans le gneiss.

Groupe des environs de Beaujeu. — Les gisements que l'on connaît dans les diverses concessions situées aux environs de Beaujeu sont peu nombreux, et généralement leurs affleurements sont cachés sous les bruyères, les bois ou la culture qui recouvrent presque entièrement les montagnes de cette localité. Néanmoins, en traversant ces montagnes dans plusieurs directions, on rencontre fréquemment des fragments ou des pointements de quartz hyalin, saccharoïde ou zoné, pénétrés de mouches métalliques, de galène ou de pyrite de cuivre, et on comprend qu'elles peuvent être traversées et recoupées par des filons s'entrecroisant que nous ne connaissons pas.

Mine des Ardillats (Montchonay). — Les travaux de cette mine furent commencés en 1857. Ils sont ouverts sur un filon vertical de galène et de cuivre gris d'une puissance de $0^m,30$ à $1^m,30$, atteignant quelquefois 3 mètres, dirigé approximativement N. O.-S. E.; à gangue quartzeuse, encaissé entre des granites et des roches porphyroïdes, et paraissant avoir une très-grande étendue.

Gangue. — Le quartz s'y présente cristallin, caverneux, séparé des granites et des porphyres encaissants par des salbandes argileuses plus ou moins épaisses. On l'a trouvé accompagné d'un peu de chaux carbonatée et « surtout de spath fluor qui s'est montré abondamment dans quelques parties du filon voisines de la surface, et se trouve répandu plus ou moins généralement sans qu'il puisse être bien remarqué[1]. »

1. Lamy. *Note inédite.*

Minerai. — Il est formé de galène et de cuivre gris associés à des minerais d'une bien moins grande importance, tels que le plomb carbonaté, le cuivre carbonaté, le plomb arsenio-phosphaté, etc. Ceux qu'on a extraits, pendant plusieurs années de travaux, ont présenté des teneurs variables telles que les suivantes :

Galène lamelleuse	plomb p. %	79,50	Arg. aux 100k de plomb	57g
— grenue. . .	—	79,20	—	46
— fibreuse. .	—	80,00	—	51
Plomb carbonaté.	—	»	—	15 à 16g
Cuivre gris	cuivre p. %	42,91	Argent aux 100k de minerai	651g
—	—		—	7 à 800g

Quelquefois, mais rarement, ils ont rendu 1,200 et 1,800 grammes[1].

Disposition du minerai. — Les deux principaux minerais, galène et cuivre gris, se sont présentés quelquefois en bandes parallèles accolées l'une à l'autre, ou séparées par des matières quartzeuses. Le plus généralement ils sont disséminés dans le quartz, mais ils ont été aussi trouvés dans des matières feldspathiques altérées qui, sur quelques points, ont aussi concouru au remplissage du filon.

On a reconnu que leur ensemble formait dans le filon une sorte de colonne ou plutôt d'amas lenticulaire aplati, incliné à l'horizon, d'une hauteur totale de 60 à 70 mètres et de 50 à 60 mètres de largeur dans le sens normal à sa pente, ayant présenté vers son centre son maximum de puissance et de richesse.

Au-dessous de cet amas métallifère, le filon conserve toute sa puissance et tous ses caractères, de manière à donner lieu de croire à l'existence de nouveaux amas à une profondeur plus grande.

Pendant cinq ans, on y a extrait plus de 1,600 tonnes de minerai préparé qui ont été vendues aux usines de Vienne et du Nord, au prix moyen de 480 à 500 francs la tonne, et on en a retiré des bénéfices.

En 1872, les travaux y étaient presque entièrement suspendus, et on pouvait craindre que cette mine, qui s'était présentée dans les meilleures conditions de richesse, pût être abandonnée ; mise en liquidation à cette époque par suite de désaccord entre les intéressés, elle fut vendue à une Société qui aujourd'hui (1873) y exécute des travaux importants.

Il n'est pas inutile de rappeler ici quelles peuvent être les causes de cette défaillance apparente. Lorsque le filon des Ardillats fut découvert, les premiers travaux conduisirent rapidement sur des parties métallifères d'une grande richesse. Ce résultat produisit une émotion générale dans le pays, et les propriétaires des environs entreprirent des recherches superficielles en un grand nombre de points. Les intéressés de la mine des Ardillats, sous l'influence des mêmes sentiments, sans tenir compte des

1. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1863. Lamy.

éventualités et des changements qui pouvaient survenir dans la continuité des minerais au sein du filon, se hâtèrent de faire construire à grands frais une fonderie sur les bords de la Saône et de retirer entièrement les produits que leur fournissait l'exploitation sans faire aucun travail d'avenir. Lorsqu'on fut arrivé aux extrémités de l'amas lenticulaire qu'on avait eu la fortune de rencontrer; lorsqu'on eut recueilli la presque totalité du minerai qu'on pouvait en retirer, il fallut penser à exécuter des travaux nouveaux, faire de nouvelles recherches, créer enfin un nouveau capital d'exploitation. De là le désaccord entre les propriétaires de la mine et les causes de l'abandon dont cette mine fut menacée. C'est l'histoire d'une foule d'entreprises de ce genre en France.

Quoique nous pensions que de nouvelles richesses argentifères doivent infailliblement exister dans les profondeurs, probablement plus importantes que celles que l'on a déjà rencontrées, nous ne savons pas quel est l'avenir destiné aux travaux qui s'exécutent aujourd'hui aux Ardillats; mais, quel qu'il puisse être, on peut remarquer combien il était imprudent, au début, de consacrer à des constructions qui n'ont jamais servi des sommes importantes, et de ne pas former, à l'aide des produits de la mine, un fonds de réserve qui aurait permis de développer les recherches, de trouver d'autres amas, d'assurer enfin l'exploitation future sans sacrifices nouveaux.

Monsols. — Dans la même concession, et sur les versants de Monsols, on voyait, en 1872, les traces de travaux qui n'étaient pas bien anciens, les affleurements des filons qui traversent les schistes superposés aux granites et aux porphyres, disparaissant sous la végétation; mais, d'après M. l'ingénieur Barudio, on avait reconnu de ce côté et non loin de Monsols un filon quartzeux, de 3 mètres de puissance, qui pouvait être le prolongement de celui du Montchonay.

Valettes. — En 1872, les travaux étaient abandonnés. On y avait exploré un filon quartzeux analogue au précédent. En 1873, cette concession est acquise par les nouveaux propriétaires de celle de Montchonay ou des Ardillats.

Chenelette. — Près du pays de ce nom et un peu au-dessus de la route de Beaujeu à Chauffailles, se montre l'affleurement d'un remarquable et puissant filon plombeux. Il n'était travaillé en 1872, au moment où nous l'avons vu, que par des paysans qui y cherchaient l'alquifoux.

On y voit les traces d'anciens travaux qui remontent sans doute à une époque éloignée et se développent sur une étendue de plus de 1 kilomètre.

Ce filon, très-apparent à la surface du sol, consiste en zones de quartz et de baryte parallèles, encaissées dans des porphyres.

Leur direction est à peu près N. S. magnétique.

Il était difficile en 1872 de juger de la puissance de ce gisement en partie caché par la végétation ou par les déblais des anciennes excavations ; mais on pouvait facilement présumer qu'il devait être puissant. M. l'ingénieur Geyler, qui y a fait exécuter des travaux d'exploration dans ces dernières années, nous a assuré qu'en certains points son épaisseur atteignait 20 mètres.

Minerais. — Ils consistent en galène à grandes facettes, pauvre en argent, en plomb carbonaté et phosphaté.

Cette mine, dont l'affleurement est peu élevé au-dessus du vallon, paraît devoir être fort riche en plomb.

Longefay. — Non loin de Chenelette et près du hameau de Longefay, se trouve le filon de ce nom, connu depuis longtemps comme le précédent. En 1867, il fut l'objet de travaux assez importants et une laverie avait été construite auprès de son affleurement. Il consiste en un filon quartzeux courant dans la direction N. 65 à 70 E., encaissé dans des porphyres verts fort durs, et qui paraît avoir une grande étendue.

Les minerais étaient composés de galènes et de cuivre gris argentifères.

La dureté des épontes et la difficulté d'ouvrir, dans les roches de cette contrée, des galeries d'écoulement ont été vraisemblablement la cause de l'abandon des travaux, qui auraient peut-être pu être poursuivis avantageusement si l'on avait pu se servir des matières explosives que possède aujourd'hui l'industrie.

Propières. — *Azolette.* — La mine de Propières, située au nord et presque au pied des roches porphyriques d'Ajoux, consiste en un filon principal encaissé dans des schistes dévoniens que recouvrent des terrains incultes ou couverts de bruyère.

Ce filon est signalé par une succession de dépressions du sol indiquant les éboulements des travaux dont il a été l'objet, suivant la direction N. 40 O. Les déblais extérieurs indiquent que ce filon était particulièrement barytique.

D'après Guillaume Paradin (1560), on le travaillait en 1458, et des travaux antérieurs y avaient été poursuivis au temps de Jacques Cœur. A cette époque, on en retirait l'argent, quoique la teneur paraisse n'avoir pas dépassé 30 à 40 grammes aux 100 kilos de plomb d'œuvre.

Cette mine fut reprise vers 1838, et, d'après M. Parisel[1], la Compagnie qui exploitait n'avait livré au commerce que du vernis de potier ou de l'alquifoux. Cette Compagnie avait commencé à construire des fourneaux

1. Statistique des mines du Rhône.

pour le traitement des minerais; mais, en 1872, on n'en voyait aucune trace. On pouvait cependant constater la présence de scories indiquant les tentatives qu'on avait faites pour la fusion.

Quelques travaux y furent encore pratiqués plus tard; mais ces recherches nouvelles, peu étendues d'ailleurs, d'après ce que nous en savons, furent bientôt suspendues.

Le gisement d'*Azolette* paraît être la suite de celui de Propières.

Dans le district de Beaujeu, on connaît encore d'autres gisements plombeux situés sur les versants de la Saône, comme à *Saint-Didier*, *Vernay*, *Lantigné*, *Quincié*, *Marchans*, *Vaux*, *Odenaz*. Mais généralement, dans ces mines comme dans tout le Beaujolais, les minerais de plomb qui n'y sont pas accompagnés de cuivre gris n'y possèdent qu'une faible teneur en argent. Ils peuvent toutefois, comme le filon de Chenelette, avoir une grande richesse en plomb. Parmi les derniers gisements que nous venons de citer, nous devons cependant rappeler celui d'*Odenaz*, au sujet duquel Guillaume Paradin écrivait : « La mine d'Odenaz, près la montagne de Brullon (Brouilly), chemin de Beaujeu à Charentay, payait et satisfaisait en plomb à toutes mises et frais, restant de gain l'argent. L'eau empêche le travail. »

On y connaît plusieurs filons quartzeux et barytiques dans lesquels la galène est accompagnée de plomb carbonaté et de cuivre carbonaté vert qui y font soupçonner la présence du cuivre gris.

Vallée de l'Azergue. — En descendant la vallée de l'Azergue, on a trouvé de nombreux vestiges de mines qui ont été attaquées à diverses époques. Parmi ces mines, nous citerons les suivantes :

Vautorte, près *Claveysolles*, pyrites de fer. — Vers 1450, d'après Paradin, on travaillait à ces mines, qui renfermaient « force vitriol, argent, plomb, cuivre et soufre. » Les ducs du Bourbonnais y prenaient certains droits comme barons du pays.

Dans le dix-septième siècle, on en retirait la couperose. A cette époque, les travaux y furent interrompus, et, d'après les Mémoires des intendants, la cause de l'abandon devait être attribuée à la mésintelligence des entrepreneurs, à la rareté des gros bois nécessaires au boisage, à la difficulté des transports, à la rudesse extrême du pays. Des travaux y ont été faits dans ces dernières années sans qu'ils aient été poursuivis.

Chamelet. — *Létra*, anciennes exploitations de galène.

Valsonne, filon dans une roche porphyroïde. Galène à fines facettes, compacte. Blende, mispikel, pyrite de fer, cuivre et fer arseniaté et pyriteux. En 1849, on l'exploitait pour en tirer l'arsenic. Aujourd'hui (1873) ces travaux sont abandonnés.

Mines de Jacques Cœur. — Pendant longtemps on a ignoré la situation des mines de Jacques Cœur; les Mémoires des intendants écrits en 1698 n'en font pas mention ; en 1826, l'état des mines publié par l'Administration disait que quelques-unes de ces mines n'avaient pu être retrouvées, et en 1859 on écrivait : « L'insouciance pour les mines est telle en France, qu'on n'a pas encore retrouvé la situation des filons concédés par Charles VII aux fils de Jacques Cœur[1]. »

Aujourd'hui, si on ne connaît pas toutes les mines de Jacques Cœur, on sait au moins, grâce aux recherches laborieuses d'un ingénieur civil, feu M. Poyet, où se trouvent la plupart de celles qu'il faisait exploiter dans le Lyonnais et dans le Beaujolais.

Ces recherches, publiées en 1861[2], ont fait savoir que ces mines, désignées dans les anciens documents sous les noms de :

Cheissieu ou *Chissieu*,
Saint-Pierre-la-Pallu,
Pompallieu, *Pompailly* ou *Pompilien*,
Cosne,
Jos de la montagne de Tavanne,

ne sont autres que les mines :

de *Chessy* et de *Sainbel* (Sourcieux, Saint-Pierre-la-Palud et Chevinay);
de *Boussivre* et *Valetier*, commune de Joux-sur-Tarare;
de *Bressieu*, canton de Saint-Laurent-de-Chamousset, et de *Brullioles*.

Pompallieu ou Pompailly étant un hameau situé sur la rive droite du ruisseau de Cosne, près Bressieu, on ne peut avoir aucun doute à cet égard, et la mine de Cosne était auprès de Brullioles.

Les usines, placées sur les lieux mêmes, étaient désignées sous les noms de Martinets, de Cosne, Venail ou Vernay, hameau de Brullioles, et Brucieux.

On voit encore, dit-on, à Bressieu les restes de la laverie et de la fonderie, les vestiges des anciens travaux dans la montagne du Vernay; mais la végétation et la culture cachent les traces des filons exploités.

Les mines de Joux-sur-Tarare ont été rappelées en 1560 par Guillaume Paradin, qui dit : « En la paroisse de Joux et au lieu appelé la *Vieille-Montagne* de Boussièvre, il y a des mines tenant argent, plomb, cuivre et un peu d'or, et d'autres, près Valletier et à un quart de lieue du château de Joux, tenant 1 marc d'argent pour 100. » La tradition rappelait aussi celles de Brullioles, suspendues en 1560, puisque, dans le même travail

1. *Presse*, 6 octobre 1859.
2. Académie des sciences de Lyon (1861). Ouvrage couronné.

de cette époque, il est dit, en parlant de cette mine : « laquelle faisait faire Jacques Cœur, » tenant plomb et 5 marcs argent pour 100[1].

Les documents relatifs aux mines de Jacques Cœur, en 1455[2], parlent d'*un grand ouvrage déjà commencé en la montagne de Pompalien*, poursuivi à prix fait, moyennant 1,500 livres tournois, ou environ un poids de 41 kilogrammes de notre monnaie d'argent, pour le percement de 60 toises. En 1764, cette galerie n'était indiquée à la surface que par un écoulement d'eau rouillée qui en fit découvrir la présence à Jean Blanchet, l'un des propriétaires de la mine de Chasselay alors en activité, et associé de Jars pour les travaux de Chessy. On reconnut ainsi l'entrée d'une des galeries les plus belles de France, faite avant l'invention de la poudre et abandonnée depuis longtemps. On en déblaya une longueur de 320 toises, et, en 1776, le travail fut abandonné, non pas à cause de la rareté des produits, comme le dit l'état de 1826, mais par suite de contestations survenues entre associés, ainsi qu'il ressort de volumineux dossiers conservés à la préfecture du Rhône[3].

L'indication de ce travail montre quelle avait pu être, antérieurement et au commencement du quinzième siècle, l'importance de ces mines.

J'ignore si l'emplacement de cette galerie et de la mine qu'elle desservait est aujourd'hui connu, mais il serait facile de le retrouver.

Suivant toute apparence, les mines de ces localités furent travaillées par Jacques Cœur depuis 1427, et il cessa de les exploiter en 1451, quand il fut disgracié par le roi Charles VII.

D'après Garrault, qui écrivait en 1579, « elles furent l'origine des biens de ce grand homme. » L'auteur du livre de *Jacques Cœur et Charles VII*, M. Pierre Clément, a contesté cette assertion. « Les mines de Jacques Cœur, dit-il, situées dans les environs de Lyon, donnant argent, cuivre et plomb, étaient en réalité peu productives. » Nous ne voulons pas discuter ici cette question, et il est bien certain que le grand argentier de Charles VII trouva une source de grande fortune dans le commerce du Levant qu'activait son intelligence et sa haute capacité. Mais nous devons rappeler que l'argumentation de M. Pierre Clément est fondée tout entière sur des comptes que l'on retrouve aux Archives nationales sous le titre de : Comptes de Jacques Cœur ; or, ces comptes ne donnent les dépenses et produits que pour l'année 1454-55, et à ce moment Jacques Cœur était exilé depuis 1451, ses biens avaient été confisqués au profit de ses accusateurs et les mines, délaissées depuis cette époque, ainsi que le démontre le règlement que nous donnons en note, étaient travaillées alors au compte du roi, sous la direction de Pierre Gravier, commis par Jehan Dauvet, conseiller et procureur général, exécuteur de l'arrêt qui l'avait condamné.

1. Il est probable que cette teneur est exagérée.
2. Archives nationales.
3. Poyet.

Ces comptes se rapportent donc à l'administration royale pendant la durée d'un an et nullement aux travaux de Jacques Cœur.

En les examinant, on reconnaît que, pour une dépense de 18,195 livres, représentant 100,000 francs environ, au prix de 5f,50 par livre, on n'avait retiré que 16,583 livres, ou 91,096 francs; on voit enfin qu'il y avait une perte d'environ 9,000 francs.

Mais, si on en lit l'énoncé avec quelque attention, on trouve que les dépenses donnent le détail d'une somme de 8,000 livres, plus de 40,000 fr., pour gens qui en doivent compte, etc., c'est-à-dire comme avances, et indiquent des frais d'administration relativement considérables.

On ne peut donc rien déduire de désavantageux de pareils comptes, et il faut croire que ces mines avaient encore une assez grande valeur puisque, le 24 février 1455, celles de Pompilieu ou Pompalien, comme celles de Jos ou Joux-sur-Tarare, furent affermées sous l'enchère de 2/10 1/2 ou 1/4 des produits bruts, dont 1/10 pour le roi; et, dans les notes des comptes de Jacques Cœur, on voit qu'en mai 1455 des ouvriers travaillaient à prix fait, extrayaient et fondaient moyennant la moitié des produits.

Ces droits, excepté le dixième du roi, furent donnés par Charles VII, en 1457, à deux des fils de Jacques Cœur qui les prélevaient encore en 1475.

En 1455, l'argent se vendait 8l,13s le marc, soit 47f,15, ou environ 192 francs le kilo.

Comment maintenant ces mines ont-elles été abandonnées et perdues, nous l'ignorons; mais on pense que les inondations et les débordements de l'Azergue, en 1607, 1667 et 1711, firent suspendre celles des environs de Sainbel, et il est fort possible que l'approfondissement des travaux et la difficulté de l'extraction des eaux et de l'aérage n'aient pas été étrangers à leur abandon.

Il résulte enfin de tout ceci que la plupart des travaux de Jacques Cœur sont abandonnés depuis environ quatre siècles; quelques tentatives y ont été faites à diverses époques, mais ces tentatives ont été pour ainsi dire insignifiantes, et on peut croire, sans crainte d'errer, que, depuis la fin du quinzième siècle jusqu'à 1872, à l'exception de M. l'ingénieur Poyet, personne n'a cherché à faire connaître les filons de ces contrées, à étudier l'intérieur des travaux dans les parties où l'on pouvait encore pénétrer, et enfin à se rendre compte de ce qu'il pouvait y avoir de vrai ou de faux dans l'opinion généralement admise qu'ils avaient coopéré à la fortune de leur propriétaire[1].

1. Il n'est pas sans intérêt de publier ici le règlement des mines de Jacques Cœur, sous l'administration royale, en 1455.

Ordonnance sur le gouvernement des mines. — *Archives nationales,* KK, 329.

Copie des ordonnances faites par Maistre Jehan Dauvet, procureur general du roi nostre sire, sur le fait et gouvernement des dites mines.

Pour donner bon ordre et provision au gouvernement et conduicte des mynes d'argent

De toutes ces vieilles mines, seules les mines de Chessy et de Sainbel ont survécu, et cette dernière montre, au-dessous des anciens travaux, des accumulations métalliques plus considérables que celles que l'on avait jamais trouvées et que, dans les temps anciens, on n'aurait jamais osé soupçonner.

et de cuyvre qui furent de Jacques Cuer, assises ès pays de Lyonnois et Beaujolois, appartenant au roy, et en accomplissant ce qu'il a pleu audit seigneur, sur ce mander à moi. Jehan Dauvet, conseiller et procureur general d'icellui seigneur, et commissaire en ceste partie, ont été par moy faictes les ordonnances qui s'ensuient :

Premierement, a este ordonné que dores en avant esdites mines aura ung gouverneur qui aura la charge de faire toute la recepte et despense et de tenir les comptes des dictes mynes, tant du principal que des dixiemes du roy; onquel office de gouverneur et receveur a esté par moy ja commis maistre Pierre Gravier.

Item, que pour conteroller et certiffier toutes lesdictes receptes et despenses, les achaptz des vivres, les affermages et paiements des ouvriers et preffateurs, y aura doresenavant ung conteroleur, et des maintenant y ay commis et institue Nicolas Charo, clerc.

Item, et lesquelz gouverneur et conterolleur feront leur residence sur les lieux desdictes mynes et vaqueront songneusement on fait et exercice de leurs ditz office ainsi que cy apres sera plus a plain declaré.

Item, auront lesditz gouverneur et conterolleur leur logeis et despense sur lesdictes mynes; c'est assavoir, ledit gouverneur, luy, ung clerc ou varlet et deux chevaulx; et ledit conterolleur, luy et ung cheval; et oultre ce, auront et prendront par chacun an par les mains dudit gouverneur telz gaiges qu'il plaira au roy leur taxer et ordonner.

Item, ledit gouverneur donnera le meilleur ordre et provision qu'il pourra es maistres de montaigne des dictes mynes, et les fera aller, entrer et visiter chacun jour une fois ou plusieurs, ainsi que besoing sera, les puits, voyages et chambres desdictes mynes, et saura comment les dits maistres de montaigne mectent en besongne les ouvriers de martel, en quelles chambres, comment ilz besongnent et quelle myne ilz tirent, et aussi comment ils conduisent et ordonnent les piardes des maneuvres, s'ils tirent bien hors de ladicte montaigne la mine, terriers, eaues et autres choses; et aussi comment ilz ordonnent les charpentiers apoyeurs de montaigne, s'ilz retiennent et cyntrent bien et deuement les voyages, puis et chambres desdictes mynes; et que de tout ce qui sera fait, ouvre et besongne dedens les montaignes le jour, ilz en facent le rapport devers le soir audit gouverneur.

Item, ledit gouverneur semblablement donnera bon ordre et provision sur le faict et conduicte des ditz ouvriers de martel; c'est assavoir que le plus que faire se pourra, l'en retiengne et mecte en besongne des meilleurs et plus souffissans ouvriers, et que nulz ne soient retenuz afermes ne mis en euvre, mesmement estrangiers, qu'ilz ne soient souffissans et expers, ou que ce feussent des subgetz de ce royaume qui se vouldroient louer ou affermer comme aprentiz, et que par lesdiz maistres de montaigne les face besongner a leur piardes entierement sans les abregier en quelque façon ou maniere que ce soit.

Item, pourvoiera le mieulx qu'il pourra aux forges desdictes mynes de bons, souffisans et diligens mareschaulx qui forgeront incessamment les chaines, coighetz, marteaulx et autres ferrementz desdictes mynes en telle maniere que les ouvriers d'icelles mynes ne choument et que l'ouvrage d'icelles ne soit aucunement retardé.

Item, oultre lesditz maistres de montaigne, ledit gouverneur, s'il voit que besoing soit et prouffitable, commectra ung autre expert et entendu, a qui il donnera bons gaiges, qui semblablement entrera deux fois le jour, ou plus, dedens la dicte montaigne pour visiter lesditz ouvriers et maneuvres, et rapporter audit gouverneur leur façon et maniere d'ouvrer, quelle myne ilz tirent, de quelle sorte et en quelle quantite, et les faultes qui y seront, pour y pourvoir ainsi qu'il verra estre à faire.

Item, ordonnera le mieulx qu'il pourra la conduicte des maneuvres desdictes mynes, tant de ceulx qui sont aux gaiges, salaire et despens du roy, que de ceulx des prefateurs qui ont

Mines de Chessy et de Sainbel. — Ces mines ont été longtemps considérées comme des mines de cuivre, ainsi que celles de Saint-Pierre-la-Palud, de Chevinay et de Savigny, situées dans les environs.

La mine de Chessy, concédée en 1684, avait été exploitée au temps des Romains qui, suivant toute apparence, en extrayaient le cuivre par

charge de tirer les eaues, terre et mynes de la dicte montaigne; c'est assavoir, qu'ils besongnent ordinairement aux heures de leurs piardes, et qu'ilz tirent le nombre de barreaux d'eaue, de terre et myne qu'ilz doivent tirer.

Item, donnera ordre aux fourniers, cuisiniers et autres serviteurs d'ostel desdictes mynes en telle maniere que chacun en son endroit face et exerce la charge qu'il aura le mieulx et plus loyaument et dilligemment que faire se pourra.

Item, donnera bon ordre sur le fait de la despence de bouche desdictes mynes, tant de pain, vin, chair, poisson que autres choses; c'est assavoir, tant a faire ses provisions par saison de toutes choses necessaires, que a les distribuer par regle.

Item, quand il affermera et louera les maistres, ouvriers et maneuvres desdictes mynes, il les affermera pour salaire et pour despences, sans leur bailler argent appart pour leurs dictes depences, que le moins et plus tart qu'il pourra; car par telles despences qui se font ou feroient appart, les vivres et prouvisions qui se feroient pour la despence des dictes mynes se pourroient consumer et se gaster en grant perte sans tenir lieu ne aucun prouffit.

Item, considere la grande despence qui se fait esdites mynes chacun an, est a doupter que s'il y avoit annee infertile et secherite de fruitz que la revenue des dictes mynes ne peut fournir a faire la despence d'icelles, qui pourroit estre cause de la perdicion des dictes mynes; et pour ce, ledit gouverneur fera faire les provisions de blez, vins et chairs necessaires esdictes mynes par saison pour deux annees, ou au moins pour une, et les gardera en lieu seur a Lyon ou ailleurs, pour mieulx et plus seurement et a moindres frais fournir a la despence d'icelles mynes.

Item, pour ce qu'il a este anciennement acoustume que les maistres de montaigne, charpentiers et ouvriers de martel aient plus grande distribucion de vivre et soient plus largement serviz et penses, et aussi mieulx logez et couchez que les maneuvres, et que maintenant entre eux n'y a aucune ordre, et mengeussent et couchent tous ensemble, ledit gouverneur fera separer lesditz maneuvres desditz ouvriers, et les fera mengier et couchier a part, et reduira leur despence et distribucion de vivres a la forme ancienne.

Item, visitera ledit gouverneur souvent, au moins deux ou trois fois la sepmaine, les martinetz des dictes mynes d'argent, tant de Cosne, de Venail que de Brucieu, et verra comment les maistre fondeurs et affineurs besongnent tant aux recuitz de la mine que a tirer et laver les regretz et fondre et affiner; et si ledit gouverneur y trouve aucune chose hors ordre, le redressera et y remédiera au mieulx qu'il pourra.

Item, ne pourront les ditz fondeurs et affineurs fondre ne affiner sans la présence desdis gouverneur et conterolleur desdites mynes ou de l'un d'eux; lequel conterolleur enregistrera tout l'argent, plomb et cuivre qui sera fait fondre et affiné tant esdites mines de Pampalieu, de Chissieu, de Saint-Pierre-la-Palu que de Joz.

Item, toutes et quantes fois que ledit gouverneur louera et retiendra par affermage pris fait ou autrement fera ouvrer ou besongner esdites mynes aucuns maistres, ouvriers, maneuvres fondeurs, affineurs et serviteurs d'ostel, il leur fera faire serment de bien et loyaument servir et besongner selon la charge qui leur sera donnée, et de garder et observer les ordonnances et statuz ci après desclarés; et si aucun d'eulx venoient aucunement contre leur serment ou autrement , en sera faite justice et pugnicion telle qu'il appartendra selon l'exigence des cas, et que ce soit exemple aux autres.

Item, ledit gouverneur fera faire les édifices necessaires tant en la maison de Cosne que esdiz martinetz, et meismement incontinent et le plus tôt qu'il pourra ceulx qui s'ensieuvent : c'est assavoir, au martinet de Cosne une grande cheminee sur la fournaise et affinaison; on martinet du Berrail, une autre, et fera rebatir et édiffier la petite maison qui est

lessivation; elles furent reprises au temps de Jacques Cœur. Elles ne fournirent que de faibles résultats de 1684 à 1741, époque à laquelle elles passèrent dans les mains de la famille Jars.

En 1748, on créait et on mettait en feu l'usine de Sainbel qui n'existe plus aujourd'hui, et Jars nous apprend que, dans la seconde moitié du

audessus dudit martinet demolie, pour logier le fondeur et affineur qui besongnera ondit martinet et ses gens; et aussi pour la garde et conservation du plomb estant et qui sera fait ondit martinet.

Item, pour ce que en la maison de Cosne où se fait la depence des dites mynes et où couchent et habitent les ouvriers et maneuvres des dites mynes a trop peu de logers, ledit gouverneur y fera faire ung peele et une chambre pour les maneuvres et un grenier pour mettre blé, et autres logers qu'il verra etre necessaires, le plus tot que faire se pourra.

Item, au regart des autres mynes de cuivre de Saint Pierre la Palu et de Chissieu, et des mynes d'argent et de plomb de Joz en Beaujolois, tiendra ledit gouverneur et aussi ledit conterolleur tout tel et semblable ordre; et fera ledit gouverneur tenir par les maistres mineurs, ouvriers, maneuvres, fondeurs, affineurs et serviteurs comme dessus est déclaré.

Item, pour ce que le plaisir du roi a esté et est que le grant voyage de la montaigne de Pampalieu soit fait, continué et achevé, ledit gouverneur fera incontinent et sans delay wider les eaues qui sont à l'entree dudit voyage, et par les charpentiers de ladite montagne fera adouber et redresser l'entree dudit voyage et aussi redresser tous les cintres dudit voyage afin que les maistres nivelleurs et ouvriers ordonnez pour ledit voyage soient mis en besongne ainsi qu'il a esté ordonnee et avise, le plus diligemment que faire se pourra.

Item, pour ce que ledit gouverneur a la charge de tenir le compte de la recepte et despence desdites mynes, et qu'il y faut avoir grant ordre pour la seurete et proffit du roy et de la chose, ledit gouverneur se y comportera et y gouvernera comme s'ensuit : Premierement, aura un livre de papier pour escripre et enregistrer sa recepte, laquelle il divisera par parties et chappitres; et sera le premier chappitre de la recepte qu'il fera, de l'argent blanc qui sera tiré desdites mynes et ouvre au martinetz d'icelles; le second chappitre sera du plomb qui sera fait et ouvre esditz martinetz; [le 3e chapitre est omis] le quart chappitre sera du decime appartenant au roy de l'argent qui sera fait ouvre ès autres mynes de Lyonnois et Beaujolois appartenantes à autres qu'au roy; le cinquieme chappitre sera du decime du plomb qui sera fait et ouvre esdites autres mynes; le sixieme de la revenue des champs, molins et autres heritages desdites mynes; le septiesme chappitre sera des cuirs peaux et gresses de beufs et vaches et moutons qui seront tuez, et du bran des farines et autres prouffiz qui vendront et istront des vivres et autres choses qui se despenseront esdites mynes.

Item, pour la despence desdites mynes aura ledit receveur quatre de pappier; c'est assavoir, un onquel il ecrira les achaptz et despences des vivres de l'ostel, tant de blé, vins, chars fraisches et sallees, poisson frais et salle, potaige, sel, huile, aulx, oignons, suif, estouppes et chandelles, foin, avoine et autres menues despences neccessaires pour la provision des dites mynes.

On second livre ou papier escripra la despense du bois et charbon que l'on gastera par chacun an esdites mynes, dont il fera plusieurs chappitres; c'est assavoir du bois et charbon qui se gastera en chacun desdits martinetz de Brucieu, Cosne et du Bernail; autre du charbon que l'on gastera ès forges; autre du bois que l'on gastera en la maison de Cosne où se fait la despense desdites mynes; et autre du bois appellé Mahière que l'on gastera es puiz et voyages de ladite montaigne de Pampallieu, et despences des pris fais tant de montaigne que de martinetz.

On tiers livre ou papier de ladite despence escripra et enregistrera les affermaiges et paiemens des sallaires et gaiges d'officiers, maistres de montaigne, appareurs, ouvriers de martel, maistres fondeurs et affineurs, maneuvres et serviteurs d'ostel.

On quart livre ou pappier escripra les paiemens des gens louez à journees, charroy de

dix-huitième siècle, on fondait à Chessy les minerais pyriteux et cuivreux, et avec eux ceux de Sainbel, de la montagne de Chevinay, auprès de Saint-Pierre-la-Palud, et ceux de la montagne du Pilon.

Les travaux, poursuivis à cette époque, subirent l'influence des événements de 1793, et ils ne purent être repris qu'après le retour de l'ordre. En 1810, l'entreprise faillit être ruinée par l'incendie d'un énorme tas de pyrites, et, après quelques hésitations qui semblaient indiquer un déclin, on fit venir de Saxe le maître mineur Christian Traugot Wœhlner, qui

myne, achapt de mesnage, repparacions et edifficés et toute autre despence extraordinaire; et tout divisera par chappitres sepparez les ungz des autres.

Item, outre ce, aura ledit receveur ung autre livre ou pappier onquel escripra toute la despence du grant voyage qui se fera en ladite montaigne de Pampilieu, tant en gaiges et sallaires de maistres, nivelleurs, appareurs, ouvriers, maneuvres, pris faiz, despence de bouche, bois, charbon, fer, acier, et autres choses necessaires ondit voyage.

Item, ledit receveur tiendra tout tel et semblable ordre ès mynes d'argent de la montaigne de Joz en Beaujolois, quant elle sera ouverte, et en estat et disposition de besongner tant en recepte que en despence.

Item, au regard des mynes de cuyvre de Saint-Pierre la Palu, ledit receveur aura trois livres ou pappiers ordinaires en l'un desquels escripra la recepte desdites mynes tant de cuyvre que d'argent qui y sera ouvre et de l'or qui sera separe desdits cuivre et argent s'aucun or s'en peut separer et avoir.

On second livre escripra la despence des affermaiges et paiemens des maistres de montaignes, fondeurs, appareurs, affineurs, ouvriers de martel, maneuvres, mareschaulx, serviteurs d'ostel, gens louez à journee, charroy de myne et despence de bois et charbon.

On tiers livre escripra la despence des vivres, tant de ble, vin, char, poisson fraiz et salle ensemble fromaige, sel, huille, potaige, foin, avoine, achapt de mesnage, repparacions et toute autre despence extraordinaire.

Item, tiendra ledit receveur tout tel et semblable ordre ès mines de cuivre de Chissieu.

Et pour ce que ledit gouverneur et receveur ne pourra estre à chacun des lieux en personne, ne tenir le compte des receptes et despences, ne à faire les provisions de toutes lesdites mynes, celluy gouverneur et receveur fera la principale residence à Cosne, et là exercera son office en personne en faisant les receptes et despences de ladite mine de Pampilieu et autres choses consernans le fait de son dit office; et au surplus, il tendra en chacune desdites mynes ung clerc habille et expert à ses gaiges, perils et fortunes qu'ils feront illec continuelle residence pour vacquer et entendre ès choses dessus dites le plus diligemment que faire se pourra.

Item, et lequel gouverneur et receveur visitera en personne lesdites mynes de Saint Pierre, Chissieu et Joz, deux fois le mois du moins pour voir et savoir comment on y besongnera et comment les receptes et despences s'i conduiront et porteront; et s'il y trouve aucunes faultes, les repparera et fera repparer au mieulx qu'il pourra.

Item, et pour ce que ledit receveur ne pourroit veriffier sa recepte et despence par mandementz, certiffications et quictances, ainsi que font et sont accoustumez de faire les autres receveurs, ledit conterolleur qui sera et demourra ordinairement sur le lieu desdites mynes de Pampilieu pour conteroller la recepte et despence dudit receveur, aura et tendra telz et semblables pappiers et livres que ledit receveur, esquelz il escripra et enregistrera son conterolle tant de la recepte que de la despence; et lequel conterolleur sera present à l'achapt des provisions affermaiges et paiemens des maistres, ouvriers, maneuvres et autres genz et serviteurs desdites mynes, en bail de pris faiz et generalment en toutes autres choses touchant le fait de la recepte et despence desdites mynes, et par les pappiers et livres seullment dudit conterolleur rendra et veriffiera ledit receveur ses comptes tant de la recepte que de la despence sans ce qu'il soit tenu monstrer ou enseigner d'autre mandement, certiffication

sut donner aux travaux la plus vive impulsion et changer la fortune de ces mines.

Jusqu'alors on n'avait exploité à Chessy qu'un gisement de pyrite de fer dans lequel le cuivre était peu abondant. A ce moment, on poursuivit au toit de ce gisement une veine ferrugineuse qui conduisit sur un amas de cuivre carbonaté bleu et d'oxydules dont la production fournit annuellement, pendant vingt ans, une quantité de cuivre de la valeur d'un

ou quictance de quelconque personne que ce soit; et tout ce qui sera certiffie par les livres et pappiers dudit conterolleur tant en recepte que en despence sera aloue ès comptes dudit receveur par messieurs les genz des comptes dudit seigneur ou aultres à qui il luy plaira commectre l'audicion et closture desdits comptes.

Item, et si ledit conterolleur ne povoit pas vacquer ou entendre à conteroller toutes receptes despences, affermaiges et autres choses en toutes et chacune desdites mynes, ledit conterolleur fera sa principale résidence audit lieu de Cosne, et là exercera son office comme dit est, et commectera clercs, si mestier est et il voit qu'il ne s'en puisse passer, ès autres mynes, pour faire ledit conterolleur ainsi que dessus est dit dudit receveur.

Item, considere que les maistres de montaigne, ouvriers, maneuvres et autres besongnans ès dites mynes ont, ce temps passe, vescu sans reigle et sans craincte de justice par quoy ilz ont faiz et commis plusieurs faultes, a este ordonne que ledit gouverneur aura doresenavant juridicion et congnoissance sur, contre et entre lesdits maistres, ouvriers, fondeurs, affineurs, serviteurs et autres estans esdites mynes en l'ouvrage d'icelles, ainsi et par la maniere cy apres declaree.

Item, que nulz maistres de montaigne ouvriers de martel, maistres, fondeurs et affineurs, maneuvres et autres besongnans esdites mynes, ne soient si hardy jurer ne blasmer doresenavant le nom de Dieu, ne de sa benoicte mere, en quelque forme ou maniere que ce soit, sous peine de II souz VI deniers tournois pour la premiere fois et V souz tournois la seconde, et dix solz tournois pour la tierce; et si plus avant continuent, seront pugnis arbitrairement par ledit gouverneur par banissement desdites mynes, ou autremens, ainsi que le cas le requerra.

Item, que nul desdits maistres, ouvriers, maneuvres ou serviteurs ne soient si hardiz de porter ès dites mynes, soit en la montaigne, martinetz, forges, maisons ou autres appartenances des dites mynes, espees, dagues, javelines ou autres harnoiz invasible, sinont tant seullement petis costeaux pour copper pain et viande, sur peine de confiscacion dudit harnoiz et dix solz tournois pour chacune fois qu'ilz en seront trouvéz saisiz.

Item, que nul desdits maistres, ouvriers maneuvres et autres serviteurs desdites mynes ne soient si hardiz d'injurier l'un l'autre en quelque maniere que ce soit sur peine d'amende arbitraire.

Item, que nul desdits maistres, ouvriers, maneuvres ou autres serviteurs desdites mynes ne soient si hardiz de batre frapper ou villener l'un l'autre sur peine d'amende arbitraire et d'estre pugnis par ledit gouverneur ainsi que le cas le requerra.

Item, que nul ne soit si hardi de faire ordure ni soy vuider ladite montaigne, sur peine pour chacune fois de perdre son sallaire d'une sepmaine et d'estre plus rigoureusement pugny ainsi qu'il sembiera estre à faire audit gouverneur, actendu que par la puantise et infection de telles ordures surviennent plusieurs inconvenientz aux ouvriers, maneuvres et autres besongnans ès dites mynes.

Item, que selon les cas d'injures, bateries et autres excez et malefices que lesdits maistres, ouvriers, maneuvres serviteurs et autres besongnans ès dites mynes commectront et perpetreront, ledit gouverneur les pourra faire mectre et constituer personnellement ès lieux des dictes mynes; et là, les detenir par tel temps qu'il verra estre à faire et les pugnir par banissement de l'abitacion et ouvrage desdites mynes, privacion et perte de leurs gaiges et sallaires, et autrement civilement ainsi qu'il verra estre à faire.

million. Mais, ajoute M. Fournet qui nous procure ce détail[1], après la mort de Wœhlner, aucune précaution d'avenir n'ayant été prise par les directeurs, la misère et l'abandon survinrent.

Les travaux délabrés furent relevés vers 1834, et bientôt après, le cuivre ne jouant qu'un rôle secondaire et la pyrite de fer étant devenue le minerai principal pour la fabrication de l'acide sulfurique, les mines de Chessy et de Sainbel sont devenues l'une des entreprises minérales les plus importantes de celles de la France, et elles poursuivent la période de prospérité dans laquelle elles sont entrées depuis bien des années.

Gisement de Chessy. — D'une manière générale, il peut être considéré comme un gisement de contact situé entre des schistes amphiboliques et des roches triasiques dont les stratifications sont discordantes. La jonction de ces deux terrains est presque verticale et elle est occupée, sur une épaisseur moyenne d'environ 22 à 24 mètres, par une roche d'apparence blanc grisâtre, dioritique, de 20 mètres de puissance, et d'une argile rougeâtre, de 2 à 4 mètres, mêlée de fragments anguleux de quartz et d'aphanite qui paraît se terminer en coin dans la profondeur. Les couches de grès et de calcaire viennent buter contre ces dernières argiles avec une inclinaison d'environ 45°.

Le minerai s'est trouvé dans chacune de ces roches; mais les espèces en étaient distribuées de la manière suivante[2] :

Le cuivre pyriteux et le fer sulfuré intact ne se sont trouvés que dans les schistes. Ils y étaient disposés en une masse cunéiforme qui s'est terminée en pointe à une profondeur de 200 mètres, sur une puissance de 15 mètres au plus et une longueur de 120 mètres. Le minerai y est en disséminations ou en veines qui ont atteint jusqu'à 2 mètres d'épaisseur;

La mine noire a été trouvée dans la roche grise, en rognons ayant eu quelquefois 3 mètres d'épaisseur, 5 de largeur et 12 de longueur. Ils sont situés principalement près de la surface;

Le cuivre oxydulé était disséminé dans l'argile rougeâtre, en petits cristaux ou en lamelles;

Enfin la mine bleue n'a été trouvée que dans les parties élevées du gisement, en poches dans les grès et calcaires du trias.

Le minerai le plus abondant, le seul que l'on exploitât dans ces dernières années, à Chessy comme à Sainbel, est la pyrite de fer qui sert à la fabrication de l'acide sulfurique. On en extrait aussi un peu de cuivre, mais ce minerai en renferme seulement, après triage, environ 4 à 5 p. 100 que l'on obtient par cémentation.

Ces mines, ainsi que nous l'avons vu plus haut, ont été exploitées dans

1. Académie des sciences de Lyon, 1861. Rapport, page 13.
2. Raby. *Annales des Mines*, t. VI, 3e série, p. 393.

les temps les plus anciens; mais il paraît qu'à ces époques reculées, et peut-être dans le quinzième siècle au temps de Jacques Cœur, on en extrayait aussi de l'or. C'est ce qui semble résulter des traditions et ce que l'on peut déduire encore de la note de Guillaume Paradin (1560), dans laquelle la mine de Chessy est indiquée comme étant d'or et de soufre.

On sait d'ailleurs que les pyrites de ces contrées sont aurifères et qu'elles tiennent de 10 à 100 grammes d'or par tonne, sans que ces différences soient sensibles à l'œil[1]. Des études nombreuses, jusqu'ici sans succès, paraissent avoir été faites pour son extraction[2].

En 1872, l'exploitation de la pyrite de fer s'était particulièrement développée sur le gisement de Sourcieux et on fonçait à Chessy, centre des usines, un puits qui avait déjà atteint la profondeur de 156 mètres.

Mine de Sourcieux. — Cette mine est située près de Sainbel et sur l'un des affluents de la Brevenne. Elle fut travaillée dans les temps les plus reculés, comme celle de Chessy, et on peut voir à la surface et sur une grande distance les vestiges de ces vieux travaux. Il n'y a pas bien longtemps qu'on y considérait le gisement pyritifère comme ne renfermant que des amandes métallifères de peu d'importance. On croyait même à leur épuisement prochain et à leur fin; mais des travaux de reconnaissance, poursuivis dans ces dernières années, y ont fait rencontrer une richesse très-considérable.

En 1869, au moment de la visite que nous eûmes occasion de faire à Sourcieux, la pyrite de fer était découverte sur une longueur horizontale d'environ 1,800 mètres, présentant en quelques points une épaisseur massive de 30 mètres. A ce moment, les travaux, très-développés près de la surface par les anciens, n'étaient pas descendus au-dessous de 140 mètres. On préparait ces travaux de manière à élever notablement le chiffre de la production.

A cette époque, on en tirait au moins 40,000 tonnes de pyrite que l'on transportait à la gare de Sainbel au moyen d'une locomotive roulant sur la route ordinaire et traînant plusieurs wagons.

De là ces minerais étaient expédiés à Chessy ou sur les divers points de consommation.

En 1872, la mine de Sainbel était desservie par cinq puits munis de machines à vapeur de 8 à 20 chevaux de force, et d'une profondeur maximum de 136 mètres.

Ce gisement consiste en une succession d'amandes, placées dans le sens de la stratification, entre des schistes amphiboliques analogues à ceux de Chessy, connus sous le nom de *cornes vertes*, presque verticaux et courant dans la direction N. 15 E.

1. Daubrée, *Rapport du Jury de* 1867.
2. *Compte rendu de l'Académie des sciences*, 1849, p. 700.

Vers 1750, on tirait de toutes ces mines environ 150 tonnes de cuivre; en 1866, on en produisit 180, provenant de 3,640 tonnes de minerai pyriteux, et 66,000 tonnes de pyrites[1].

Des gisements pyriteux ont été anciennement travaillés ou recherchés, dans les siècles passés comme dans le siècle dernier, au *Gervais*, au *Pilon*, à Chevinay, dans la montagne appelée *les Vieilles-Mines*, et à *Saint-Antoine*, près de Sainbel.

On a fait aussi des recherches près de *Savigny*.

Sainte-Foy-l'Argentière. — Cette mine, située dans la vallée de la Brevenne, presque en contact avec le terrain houiller qui remplit, en cet endroit, une des dépressions de la vallée, a été travaillée anciennement. La tradition rapporte encore quelques-uns de ces travaux à Jacques Cœur dont on retrouve les armoiries sur le portail d'une maison d'un village voisin.

La dernière tentative de reprise fut pratiquée en 1860. Guidé par la présence des déblais existant à la surface du sol, on pénétra dans les vieux travaux, on y reconnut des massifs riches en minerai de plomb, mais on constata un rétrécissement du gîte à 30 mètres de profondeur environ. Cette circonstance parut alors suffisante pour faire abandonner les travaux commencés, l'atelier de lavage et les fours déjà construits. Il est probable que le petit capital engagé au début de l'entreprise, étant absorbé par les frais des constructions à l'extérieur, fut insuffisant pour poursuivre les travaux de la mine et traverser le dérangement momentané qu'on y avait rencontré, et que l'on préféra tout perdre que de faire de nouvelles avances.

Gisement. — Il consiste en un filon quartzeux et barytique, d'une puissance de 1 mètre à $1^m,60$, dont la direction N. O.-S. E. est jalonnée par des saillies barytiques que l'on voit à la surface. Il paraît des deux côtés du terrain houiller qui suit le sens de la vallée et n'y pénètre pas.

Minerai. — Galène tenant de 80 à 100 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Il est regrettable que les recherches dont nous venons de parler n'aient pas été poursuivies avec plus de constance, surtout à cause de la situation de cette mine, placée près de la houille et du chemin de fer de Montbrison à l'Arbresle. Mais une raison de plus de valeur semble attacher aux mines métalliques de cette contrée une importance qui paraît digne d'attention.

Si, en effet, on jette un coup d'œil sur les montagnes qui en constituent l'ensemble, on voit les anciennes exploitations de Jacques Cœur, à Bres-

1. Daubrée.

sieu et à Brullioles, pratiquées sans doute sur un même filon dirigé N. O.-S. E., parallèle à celui de l'Argentière, et, en suivant les alignements des crêtes barytiques, on voit que ces filons se trouvent sur la direction de Montrotier, du mont Boussièvre, près Tarare, de Chambost, près Panissière, et que plus loin, au sud comme au nord, on rencontre, dans cette même direction, de grands filons quartzeux et barytiques dans le département du Rhône comme dans celui de la Loire.

Il paraît donc raisonnable de croire que cette contrée est traversée par un faisceau métallifère dirigé N. O.-S. E., pouvant présenter des enrichissements importants ou une teneur en argent plus élevée. C'est, en effet, ce que l'on a constaté par des travaux récents dans le même groupe de montagnes, dans le massif qui sépare la vallée de la Brévenne de la plaine du Forez, où l'on a rencontré des galènes donnant 0,003 d'argent[1].

Mine de Chasselay, plomb, argent, située dans la vallée de la Saône, non loin de *Neuville-sur-Saône*.— On y exploitait avant 1750, avec le plus grand succès, au dire de Jars, plusieurs filons plombeux dont les minerais étaient fondus et traités à Neuville. En 1764, les travaux y étaient déjà parvenus à une assez grande profondeur, et c'est pour cette raison et à cette époque que des recherches nouvelles furent faites ailleurs pour alimenter la fonderie, et que Blanchet découvrit la galerie de la montagne de Pompalieu.

Depuis longtemps, il n'a été fait sur ces mines aucune tentative nouvelle.

D'après les Comptes rendus des ingénieurs, ces mines auraient été travaillées jusqu'en 1795 : « le manque de capitaux ne permit pas aux exploitants de poursuivre les gîtes dans la profondeur, bien qu'ils donnassent encore des espérances. »

Département de l'Allier.

Ce département, formé par l'ancienne province du Bourbonnais, est divisé en deux parties par le cours de l'Allier qui le traverse, dans toute sa largeur, du nord au sud. Il est, pour ainsi dire, placé à la limite septentrionale du plateau central, entre les roches granitiques de la Creuse et les porphyres quartzifères qui se montrent sur la ligne de partage des eaux de la Loire et de l'Allier. Sa partie méridionale possède les riches dépôts houillers de Commentry, de Fins, etc.

C'est dans sa partie accidentée, presque sur les limites du département de la Loire, dans le groupe des montagnes de la Madeleine ou dans le prolongement de la chaîne du Forez, et particulièrement sur les versants

1. *Lettre inédite*. M. de Marcillat (1873).

accidentés et montueux de la Bèbre, que se présentent en majeure partie les substances métalliques ou les gisements métallifères que l'on y connaît.

Pendant longtemps, on a considéré ces contrées comme ne renfermant aucun gîte métallifère important, et nous trouvons cette opinion exprimée d'une manière absolue dans plusieurs ouvrages; mais des faits récents sont venus contredire victorieusement cette assertion et montrer une fois de plus combien il faut de réserve dans des appréciations de cette nature. On pouvait alors seulement dire avec vérité que l'on ne connaissait pas l'importance des gisements renfermés dans les montagnes de l'Allier, et que les recherches ou les travaux exécutés dans le cours du dix-neuvième siècle étaient insuffisants pour en déterminer la valeur.

Aujourd'hui on peut dire que les montagnes de l'Allier peuvent renfermer et posséder de riches gisements métalliques.

Principaux gisements connus [1] :

La Prugne, cuivre. — Concédé en 1872. En activité.

Nizerolles, alquifoux. — Près de Mayet. Anciens travaux. Paraît abandonné par des motifs indépendants de la richesse (Comptes rendus).

Ferrières, plomb, argent. — Découvert en 1760. Minerai donnant 80 grammes argent aux 100 kilos minerai.

Cusset. — Filons plombeux aux environs, concédés en 1776 sur une grande étendue allant jusqu'au voisinage de Pontgibaud.

Isserpent, cuivre. — Ce gîte, où l'on a trouvé des minerais de cuivre oxydulé et carbonaté en filons dans le granite, présente une certaine importance. Il serait à désirer que les recherches faites en 1842 fussent reprises et poursuivies avec persévérance (Comptes rendus, 1846).

Saint-Christophe, cuivre. — Recherches du siècle actuel non poursuivies.

Naddes, antimoine. — Dans le micaschiste. Deux filons N.-O.-S.-O.-S.-S.-E. Puissance, 1 mètre à 1^{m},20. Découverte en 1825. Concédée en 1829. A fourni du minerai de 1836 à 1837. Abandonnée par suite de la difficulté d'épuisement.

Montmalard, antimoine. — Découverte en 1763 par les chartreux de Moulins. Plusieurs fois reprise et plusieurs fois abandonnée. On y avait foncé une vingtaine de puits de 15 à 20 mètres de profondeur, sur une longueur de 200 mètres, sur un filon dirigé N. N. O.-S. S. E. On avait

1. *Statistique minéralogique du département de l'Allier*, par M. Boulanger, 1848.

commencé une galerie d'écoulement qui devait avoir 600 mètres et a été suspendue à la distance de 100 mètres.

Bergerats, antimoine. — Plusieurs filons parallèles N. O.-S. E. à peu de distance du précédent. Concédé en 1783 aux dominicains de Moulins, qui l'affermèrent moyennant une redevance de 25 pour 100 sur le régule obtenu. On y fit 9 à 10 puits qui ont fourni beaucoup d'antimoine.

Les Jordinats, antimoine. — Concédé en 1794. Pas de souvenir des travaux.

Montignat, antimoine. — Un filon travaillé dans le siècle dernier. 3 puits. Pas de tradition.

Marcillat. — Plusieurs filons avec baryte sulfatée et chaux fluatée.

Saligny, manganèse. — Aux Gouttes-Pommiers. Concédé en 1831 sur 211 hectares. Travaillé en 1841.

Mine de la Prugne, cuivre. — Elle est située presque à l'extrémité sud-est du département, sur la rive droite de la Bèbre et en face du bourg de la Prugne, dans cette partie montagneuse où sont répandus de nombreux indices de galène, de cuivre, de baryte sulfatée, etc., et que sillonnent des dykes porphyriques ou des roches modifiées sous l'action de puissantes actions métamorphiques.

La découverte de cette mine, l'une des plus remarquables qui ait été faite depuis longtemps sur le territoire français, est particulièrement due à un simple ouvrier du pays, grand chercheur de mines, et chez qui l'on pouvait voir, en 1872, une collection nombreuse des divers minerais de la localité.

Gisement. — Il est encaissé dans des schistes que l'on peut probablement rapporter au terrain carbonifère, et il est à peine visible à la surface. Sa présence n'y est révélée que par quelques colorations cuivreuses au milieu des schistes, et par quelques points rares où se présentait le cuivre panaché, ou la philipsite.

Un puits, ouvert sur le point où se montraient ces indices, a fait reconnaître un amas de minerai dont la puissance allait en augmentant. Les travaux postérieurs[1] ont montré que cet amas était limité et présentait une forme ellipsoïdale. Sa longueur est de 30 mètres sur 15 de large et 35 de hauteur. Une galerie poursuivie au delà de cet amas en a rencontré un second qui paraît aussi devoir être d'une grande richesse. Tous deux sont placés dans la direction N. N. E.-S. S. O.

Le gisement de la Prugne, tel qu'il est connu aujourd'hui, paraît donc consister en une succession d'amandes dirigées suivant une ligne déter-

1. *Revue de géologie*. Delesse et Lapparent, année 1873, page 90.

minée, inclinant à l'ouest, et subordonnées sans doute à des développements porphyriques au milieu des schistes carbonifères, ou peut-être dévoniens.

Minerai. — C'est une philipsite presque compacte, associée à une très-petite quantité de pyrite jaune, ne renfermant ni arsenic, ni antimoine. L'analyse faite par M. l'ingénieur de Gouvenain[1] a donné 60 pour 100 de cuivre. La teneur moyenne du minerai extrait du premier amas est de 15 pour 100. Cet ingénieur évaluait à 20,000 tonnes, à ce titre, la quantité de minerai qu'on pourra extraire de cet amas, et à 3,000 tonnes le métal qu'il peut contenir; mais, d'après d'autres renseignements plus récents, le rendement moyen réellement pratique ne serait que de 7 pour 100 en cuivre métallique.

Il est accompagné d'une substance vert noirâtre et cristalline qui, au premier abord, apparaît comme un mélange de fer oxydulé dans une gangue dioritique; mais les analyses de M. de Gouvenain ont démontré que cette substance était un hydrosilicate de fer, très-riche en fer, pauvre en silice, analogue à la thuringite, à la chamoisite et aux silicates à base de fer qu'on a observés dans différents gîtes métallifères soumis aux effets du métamorphisme, notamment dans ceux de la Scandinavie.

Le minerai extrait de la mine de la Prugne était envoyé par chemins ordinaires jusqu'à la station de la Palisse, et de là dans les usines du Nord. Les frais de transport, fort onéreux, s'élevaient à environ 20 francs par tonne jusqu'à la Palisse seulement.

Cette difficulté des transports, dont on cherche d'ailleurs à diminuer le poids en faisant des mattes sur place, qui résulte des grandes distances à parcourir dans un pays montueux et très-accidenté, pourra sans doute, avec le temps et avec le progrès des travaux, être sensiblement transformée.

Nous ne pouvons pas croire, en effet, que le gîte de la Prugne soit le seul dans ces contrées; le hasard et l'attention d'un homme sans instruction l'ont fait découvrir, et il n'est guère possible d'admettre qu'on ne trouve pas dans la même vallée et dans les mêmes terrains d'autres gisements utilement exploitables.

Il est donc permis de croire et il n'est pas déraisonnable de concevoir dans l'avenir une voie de communication rapide, ouverte dans la vallée de la Bèbre, où viendront aboutir les minerais divers extraits de ses deux versants et les transportant à une fonderie qu'alimenteraient les houilles des mines voisines de Bert.

Saint-Christophe[2]. — Les filons des environs de *Cusset*, ceux d'*Isser-*

1. *Revue de géologie.*
2. *Statistique minéralogique de l'Allier.*

pent, de *Nizerolles* et de *Ferrières*, donnant de la galène et principalement du cuivre, mériteraient d'être étudiés plus qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, et surtout le gisement de *Saint-Christophe*, si nous nous en rapportons à la description qu'en a donnée M. l'ingénieur Boulanger.

D'après cet ingénieur, ce gisement, découvert après 1840, consiste en un filon dirigé N.-S. au milieu des granites porphyroïdes. Il est formé de quartz et d'argiles stéatiteuses imprégnées d'oxyde rouge de cuivre et de cuivre carbonaté vert.

Les quelques travaux qui y ont été pratiqués ont reconnu que le minerai était à l'état de lentilles comme celles de la Prugne, et on en avait trouvé une de 8 à 10 mètres de longueur avec 1 mètre de puissance. On a abandonné ces travaux quand, au delà de cette lentille, on rencontrait une matière noire qui paraissait être du sulfure de cuivre rendant en moyenne 6 pour 100 de métal, teneur actuelle des mines du Cornouailles et du Devon.

Les travaux, dit M. Boulanger, ont été interrompus sans motifs plausibles. En présence des caractères que nous venons d'énumérer, qui promettaient probablement de nouveaux amas plus importants que ceux qu'on avait découverts, on doit regretter la suspension de ces travaux. C'est ainsi que ces contrées ont été peut-être privées d'une mine qui pourrait être en activité.

Saligny, manganèse. — Dans la concession de Saligny, le granite et les terrains anciens forment un pointement au milieu des terrains tertiaires. Le manganèse constitue dans les premiers un gisement qui présente encore abondamment le minerai de fer. Le minerai paraît y former des amas dont l'un a été épuisé, et les recherches faites après 1841 n'ont conduit à aucun résultat. Dans l'espace de dix ans, après 1826, on en a extrait annuellement 3,500 quintaux de manganèse.

Pour terminer ce que nous avons à dire sur l'Allier, nous remarquerons que de nombreux indices de mines se rencontrent dans l'arrondissement de Montluçon, sur les rives du département de la Creuse, et sur toute la lisière méridionale de ce département au-dessus de Gannat et de Montaigut, où peuvent se poursuivre les puissantes traînées métallifères que l'on remarque dans le Puy-de-Dôme.

Département de la Loire.

Ce département possède une région montagneuse très-développée qui comprend le massif du Forez, la chaîne du mont Pilat et la partie de la chaîne du Beaujolais appartenant aux versants de la Loire.

Les granites, gneiss et micaschistes y occupent une étendue considérable. Le terrain houiller y est représenté par le puissant dépôt de Saint-Étienne où la houille est exploitée depuis des siècles, et l'on y trouve un

développement important de grès, schistes et calcaires carbonifères, des porphyres granitoïdes et quartzifères, quelques pointements amphiboliques ou serpentineux, des émanations dioritiques et plusieurs cônes basaltiques formés pendant la période tertiaire.

La géologie de ces contrées a été particulièrement éclairée par M. l'inspecteur général Grüner, et, dans sa *Géologie de la Loire*, on trouvera les détails les plus nombreux sur la constitution du pays, en même temps que beaucoup d'aperçus intéressants relatifs à des questions générales de l'ordre le plus élevé.

On connaît dans le département de la Loire un grand nombre de gisements métallifères. Ils ont été décrits pour la plupart, avec grand soin, par M. Grüner qui a aussi recueilli tous les renseignements connus jusqu'alors; ils avaient été signalés depuis longtemps par Passinges dans le *Journal des Mines*.

Ces gisements paraissent avoir été exploités très-anciennement. D'après Jars[1], les travaux dont ils étaient l'objet remonteraient au onzième ou au douzième siècle, au temps des comtes du Forez, et ils auraient été encore en grande activité pendant le seizième siècle. Nous ne possédons à cet égard aucun renseignement positif, et nous n'avons retrouvé qu'un seul document de 1390[2] relatif au traitement des minerais des mines de plomb de *Castro de Bussy* que l'on exploitait à ce moment. Mais si les documents historiques font encore aujourd'hui défaut, les preuves de l'existence des anciens travaux se voient sur un grand nombre de points, et on les a particulièrement reconnues lorsque, dans le dix-huitième siècle, on a attaqué les filons sur lesquels ces travaux avaient été ouverts.

Un grand nombre des filons du département de la Loire ont été, en effet, plus ou moins travaillés depuis le commencement du siècle dernier jusque vers 1830. Abandonnés à cette dernière époque, on n'y a fait depuis que bien peu de travaux, et en 1872 on n'y connaissait pas d'autres ouvrages de mines que ceux de la concession du Crozet, près de la Pacaudière. De 1872 au commencement de 1874, la situation s'est peu modifiée; mais des études nouvelles et des explorations ont été faites en plusieurs points, ainsi que nous le verrons dans les détails que nous allons exposer.

Le caractère général des mines de plomb, qui sont les plus nombreuses, a été jusqu'à présent une faible teneur en argent variant de 30 à 120 grammes aux 100 kilos de plomb. Elles ne paraissent avoir pu être exploitées, pendant plus d'un siècle, qu'en vertu de l'élévation des prix du plomb qui, depuis cette époque, se sont notablement abaissés.

Il est pourtant nécessaire de remarquer que, pendant la durée de ces

1. *Voyages métallurgiques.*
2. Archives nationales.

longues exploitations du dix-huitième siècle, on ne tirait pas l'argent des minerais plombeux, quoique cependant on l'ait extrait autrefois, puisque, sur la commune de Saint-Martin-la-Sauveté, on retrouve un lieu désigné sous le nom de l'Argentière; la méthode d'extraction de ce métal par le patinsonnage, qui a permis d'ouvrir, dans le Cornouailles et ailleurs, un certain nombre de mines abandonnées depuis longtemps à cause de la faible teneur en argent de leurs minerais, n'était pas connue, et il est possible qu'aujourd'hui la valeur de l'argent et l'aide des forces dont on dispose, permettent de tirer un parti avantageux de quelques-unes de ces mines.

Leur description, à ce point de vue, qu'a envisagé M. Grüner, ne laisse pas que d'offrir un grand intérêt.

Dans tous les cas, la chaîne du Forez, les alentours du mont Pilat et les versants de la Loire appartenant au Beaujolais paraissent être essentiellement métallifères. On y voit des faisceaux remarquables et, en même temps, toute cette étendue est sillonnée par un grand nombre de filons quartzeux et barytiques atteignant 3, 4, 12 et 15 mètres de puissance, développant quelquefois leurs crêtes saillantes au-dessus du sol, sur 2 et 3,000 mètres de distance.

Jusqu'ici ils ont été considérés comme des filons stériles; ils n'ont servi qu'à la production du quartz et de la baryte, mais leur présence donne à ces contrées un caractère particulier favorable à la production des substances métalliques.

La direction N. O.-S. E., à peu près constante de ces filons, confirme cette opinion, en montrant qu'ils appartiennent à un phénomène plus général que nous n'apprécions peut-être pas encore suffisamment.

Ils renferment généralement le quartz à l'état grenu et cristallin; ils sont souvent munis de salbandes argileuses et on y rencontre, quoique en faible proportion, la plupart des substances qui caractérisent les filons métallifères, telles que la baryte sulfatée, la galène, l'oxyde de fer, la blende et des carbonates divers.

Les filons barytiques, tels que celui d'Ambierle encaissé dans les porphyres, ou ceux de la commune de Nollieux, dont l'un fut fouillé pour galène, paraissent dignes d'attention, et, d'après les observations de M. Grüner, on est porté à croire et on pourrait même affirmer, d'après la manière d'être des filons du même genre dans les contrées voisines, et notamment dans la Haute-Loire, que les minerais de plomb et le quartz tendent à remplacer la baryte dans la profondeur.

Enfin, tous ces filons quartzeux ou barytiques, possédant l'aspect zoné, rubanné ou carié, avec salbandes, quoique généralement stériles près de la surface, ou n'y présentant que des quantités très-minimes de substances métalliques utilisables, se rapprochent considérablement des filons métallifères proprement dits.

Jusqu'à présent, pas un d'eux n'a été l'objet d'aucun travail de pro-

fondeur, et il serait peut-être bien prématuré de les condamner tous et de ne voir parmi eux que des filons inutiles.

Mines et gisements connus dans le département de la Loire.

Le Crozet, plomb, argent, cuivre. — Filon dans des granites décomposés. Concession de 1870 sur 230 hectares.

Saint-Priest-la-Prugne, plomb, argent. — Filon qui paraît important.

Direction, N. E.-S. O. Elle est recoupée par celle du grand faisceau des filons de Saint-Just et de Saint-Martin.

Minerai, galène, pyrite cuivreuse, blende, cuivre gris.

Gangue, baryte sulfatée, spath fluor.

Saint-Martin-la-Sauveté, plomb, argent.—Concédé en 1805 sur 11,300 hectares. Puissant faisceau de filons plombeux sur les deux rives de l'Aix. Travaux anciens particulièrement poursuivis dans le cours du dix-huitième siècle.

Saint-Julien-Molin-Molette, plomb. — Faisceau de nombreux filons s'étendant depuis Annonay jusqu'au Rhône et au delà aux environs de Vienne. Travaillé de 1717 à 1831.

Saint-Galmier et environs, plomb, argent. — Nombreux filons.

Violay, plomb, argent. — Prolongement du filon de Joux-sur-Tarare (Poyet) ?

Gumières, cuivre.—Recherches vers 1840 et 1849. Sans travail en 1872.

Chénerailles, antimoine.

Valfleurie, antimoine. — Découvert en 1755. Travaillé avec bénéfices jusqu'à la Révolution. Repris en 1820 et 1830.

Violay, antimoine. — Concédé en 1863 sur 709 hectares.

Sainte-Colombe, antimoine. — Filon de Montmin. Travaillé au commencement du siècle.

Saint-Martin-la-Plaine, or. — Travaux anciens inconnus. Tradition.

Rodier? — Commune de Tiranges. Signalé par Guillaume Paradin.

Bassin de la Loire. — *Saint-Maurice*, *Bully*, *Villemontais*, *Cheriez*, *Saint-Alban*, *Renaison*, *Saint-Haon*, *Ambierle*, *Saint-Priest-la-Roche*, etc.—Filons pour la plupart inexplorés jusqu'à 1872.

Parmi les mines du département de la Loire, on distingue particulièrement deux principaux groupes ayant formé, dans le siècle dernier, l'objet de deux vastes concessions : l'une autour de *Saint-Julien-Molin-Molette*, s'étendant jusque dans l'Ardèche ; l'autre autour de *Saint-Just en-Chevalet*, *Saint-Martin-la-Sauveté* et *Sail-sous-Couzan*.

Ces mines, travaillées par la famille de Blumenstein à qui elles furent concédées en 1717 et 1728, furent exploitées avec plus ou moins d'activité jusque vers 1840, par conséquent pendant plus d'un siècle.

Les minerais qu'on en extrayait étaient fondus : à la fonderie de Vienne, origine de la fonderie des cendres d'orfévre qui y existe encore aujourd'hui ; à la fonderie de Saint-Julien-Molin-Molette, et à celle de la Goutte, commune des Salles, entre Noirétable et Saint-Just-en-Chevalet, depuis longtemps abandonnées.

Il y avait, en outre, un atelier à Monistrol-d'Allier, ouvert en 1743, fermé avant la fin du siècle dernier, et où on préparait les minerais de la Haute-Loire pour les vendre aux potiers comme alquifoux, etc., et des boccards sur un grand nombre de mines.

Concession de Saint-Martin-la-Sauveté.—Cette concession, d'une étendue de plus de 11,000 hectares, occupe, en tout ou en partie, les communes de *Saint-Martin-la-Sauveté*, *Saint-Just-en-Chevalet*, *Saint-Romain-d'Urfé*, *Juré*, *Grézolles*, *Lure*, *Saint-Julien-d'Oddes*, *Nollieux* et *Saint-Germain-Laval*.

Les filons plombeux qu'on y connaît, considérés d'une manière générale, constituent, par leur groupement sur les deux rives de l'Aix, au milieu des schistes carbonifères et des roches porphyriques qu'ils traversent, entre Saint-Germain-Laval et Saint-Just-en-Chevalet, une sorte de puissant faisceau métallifère sensiblement orienté du N. O. au S. E., comme la vallée même, d'une longueur de 18 kilomètres sur 3 ou 4 de large. Leur ensemble paraît se rapporter à un grand filon ou filon principal, dit filon de Juré, autour duquel viennent se grouper plus ou moins parallèlement tous les autres.

En les considérant d'une manière plus précise au point de vue de leur direction, on y distingue particulièrement et abstraction faite de divers croiseurs, ainsi que l'a fait M. l'ingénieur Lavigne (1873)[1], des filons dirigés sur h. I, h. IX à X, h. V à VI et XI à XII. Les filons dirigés sur l'h. I, à peu près N. S., d'une certaine valeur, sont caractérisés par des affleurements quartzo-ferrugineux, par la richesse en plomb et la faible teneur en argent de leurs minerais.

Quelques-uns de ces filons ont donné lieu à des produits importants.

Les filons dirigés sur l'h. IX à X, ou à peu près N. O.-S. E., comprennent le grand filon dont nous avons parlé plus haut. Ils ont une grande importance qui se manifeste par les nombreux travaux dont ils ont été l'objet anciennement et dans le siècle dernier. Ils paraissent former trois faisceaux dont deux surtout sont essentiellement métallifères. Le premier, suivant les rives de l'Aix, de Saint-Germain-Laval à Juré et même au delà des limites de la concession jusqu'à Écrat, comprend le filon principal de Juré et une veine latérale qui en est distante de 40 mètres environ, tous deux exploités à Grézolles et à Juré. Le second

1. *Mémoire sur les Mines de plomb argentifère de la concession de Saint-Martin-la-Sauveté.*

se trouve sur la rive droite de l'Aix ; il est particulièrement composé de deux filons distants d'environ 200 mètres, allant des Grandes-Chazelles jusqu'aux Combres, en passant par *Serveaux*, *Grézolette*, *l'Argentière*, *Saint-Marcel*, *Chomot* et *Contensons*. Ce faisceau, moins important que celui de la rive gauche de l'Aix, n'offre pas moins un grand intérêt par la régularité de l'un de ses filons et la possibilité de le mettre en exploitation.

Le troisième faisceau du système h. IX, parallèle aux grands filons quartzeux de la vallée de Saint-Thurin, est plutôt cuivreux que plombeux; on n'en connaît réellement pas l'importance, et il présente, de Saint-Thurin jusqu'à Champoly et au-delà des limites de la concession jusqu'à la Bombarde, une série de veines puissantes ou peut-être d'amas métallifères, tenant des pyrites de cuivre et des galènes, tantôt dans le porphyre quartzifère, tantôt dans les schistes et calcaires carbonifères. Les faits que l'on peut observer dans cette partie du département de la Loire, d'après les descriptions qui en ont été données, indiquent la puissance d'actions métamorphiques prolongées, favorables certainement à la concentration de substances métalliques, et il est possible que ces remarquables filons quartzeux qu'a signalés M. Grüner dans la vallée de Saint-Thurin soient eux-mêmes des filons métalliques à une certaine profondeur.

Le système h. V à VI, ou presque E. O., est surtout représenté dans la concession par un filon, d'une grande importance et celui sur lequel les travaux ont été le plus prolongés. Ce filon traverse les porphyres granitoïdes et quartzifères et les schistes trappéens du mont d'Urfé.

Il offre cette particularité de présenter le cuivre gris argentifère que M. Lavigne y a reconnu et que l'on n'a pas signalé dans les faisceaux des deux rives de l'Aix.

La direction h. XI et XII, ou à peu près N. S. magnétique, se rapprochant beaucoup de la direction h. I, comprend particulièrement quelques filons plombeux et surtout des filons de mispikel que l'on rencontre surtout aux environs de Saint-Thurin. Leur importance n'est pas connue, mais jusqu'à présent elle paraît très-secondaire.

Si maintenant on classe d'après ces directions les divers lieux sur lesquels les travaux ont été exécutés, travaux pratiqués souvent sur le prolongement des mêmes filons, on pourra former le tableau suivant, dressé par M. Lavigne, qui donne une idée des nombreux points d'attaque et de l'importance de ces travaux en ces points divers.

Nous devons ajouter qu'on trouvera les mêmes indications dans la *Description géologique de la Loire*, par M. Grüner.

NOMS.	DATE DE L'EXPLOITATION.	PARTIE EXPLOITÉE	
		EN DIRECTION.	HAUTEUR.
	Filons dirigés h. I.		
Chavagneux	De 1855 à 1856	100m	46m
Marcilleux	De 1770 à 1795	200	»
Le Moux	1770, peu exploré	»	»
Nollieux	1735 à 1765	300	»
Corent	1873, en travail	20	»
Garait	1751-1764	100	50
Serveaux		»	»
Job	1820-1836, 1860	200	»
Soulagette	Amas ferrugineux	»	»
	Filons dirigés h. IX à X.		
Grézolles	1763-1830, 1855-1860	600	110
Filon Bourru	Id	150	»
Barjeat	Id	400	»
Juré ou Durel	1785-1834	300	130
Boson	1837-1838	»	»
Chavagneux	1855-1860, en recherches.	»	»
Contenson	Non exploré	»	»
Les Combres	1830-1860, peu exploré	100	»
Charmay	1760-1770	200	24
Saint-Marcel	1834-1836	»	»
Grézollette	1728-1770	700	60
Serveaux	1820-1836, 1860	40	10
Grandes Chazelles, *Nollieux*, *Grandry*, peu exploités.			
	Filons dirigés h. V à VI.		
Pouet	1729-1809	600	130
Parc de Neufbourg	»	»	»
Veine latérale	»	»	»
	Filons dirigés h. XI et XII.		
Esserlon	1764-1770	200	»
Moulin Vireaud	Non exploré	»	»
Relange	Non exploré	»	»
Le Mas	1860	»	»
Corent	»	»	»

Historique des mines de Saint-Martin.—Production.— Ces mines[1] ont été travaillées dans des temps très-éloignés et probablement par les comtes du Forez, mais jusqu'à présent on ne connait réellement pas d'autres documents qui s'y rapportent, ainsi que nous l'avons dit plus haut, qu'une note de dépense relative aux travaux de la mine de *Castro de Bussy*, de 1390, située entre Nollieux et Saint-Sixte, en dehors de la concession de

1. *Géologie de la Loire*, par M. Grüner.

Saint-Martin. Le nom de l'Argentière, conservé à l'une des localités des environs de Saint-Martin, montre aussi l'existence d'anciennes exploitations en même temps qu'il en indique l'objet.

Tous ces travaux étaient inconnus et oubliés, quand en 1728 deux concessions furent données à M. de Blumenstein, sur plus de 7,000 hectares chacune, autour de Saint-Martin-la-Sauveté et de Sail-sous-Couzan. Ces deux concessions, rectifiées en 1805, furent réduites à l'étendue actuelle de 11,300 hectares.

Ces travaux, commencés en 1729, furent poursuivis jusque vers 1844, quoique très-faiblement dans les derniers dix ans[1].

1729-1751.— On travaille à Grézollette et au Poyet. Ce sont les seules mines exploitées alors sérieusement dans le Roannais. Pendant cette période le nombre des ouvriers n'est pas de plus de 100, et le produit annuel varie de 15 à 1700 quintaux métriques de galène rendant à la fonderie de 48 à 50 pour 100 de plomb. C'est l'une des périodes les plus florissantes de Saint-Martin.

1751-1762. — Le Garet s'ajoute aux deux mines précédentes, mais l'extraction n'y devient importante qu'en 1758, tandis que Poyet décline sensiblement dès 1750. Le produit des mines atteint son maximum de 6,830 quintaux anciens, environ 3,400 quintaux métriques, en 1758, pour s'abaisser de nouveau et revenir au chiffre moyen antérieur. On ouvre les mines de *Charmay* et d'*Esserlon* en 1764 et on multiplie les attaques.

1763-1790. — En 1763 on attaque le filon de Grézolles qui devient important, et on abandonne les filons de Grézollette, Esserlon, Charmay; on construit un boccard à Grézolles et on ouvre une nouvelle mine à Marcilleux; on commence à travailler le filon de Juré en 1785. La production annuelle était d'environ 1,700 à 2,000 quintaux métriques.

1790-1806. — Les événements de la Révolution nuisirent à la prospérité des mines de Saint-Martin; néanmoins elles restèrent en activité à cause des hauts prix du plomb et des fournitures que réclamaient les armées de la République. Les ouvriers manquaient. La production diminuant fut moyennement de 12 à 1,300 quintaux métriques de 1790 à 1793, et de 8 à 900 de l'an IV à l'an XIII.

1804-1810. — En 1806 on ouvre de nouveau Grézollette, ce qui augmente la production. Celle-ci descend en 1809 par suite de l'abandon du filon de Poyet.

1810. — Installation d'une machine à vapeur sur le filon de Juré.

1826. — Abandon de la mine de Grézollette et des parties basses du filon de Juré.

1. Grüner.

1844. — Ces mines, faiblement exploitées depuis dix ans, passent dans les mains d'un nouveau propriétaire.

Pendant cette longue période de plus de cent ans, si l'on étudie attentivement le mouvement des travaux, tel qu'il nous a été donné par M. Gruner, on reconnaît d'abord que les Blumenstein ne tiraient aucun parti de l'argent contenu dans les minerais, à une époque où on ignorait les méthodes nouvelles du patinsonnage, etc.

Les travaux, quoique dirigés sans état-major coûteux, paraissent néanmoins avoir été très-onéreux, par suite de l'emploi presque exclusif du bras de l'homme dans tous les services tels que les transports et l'épuisement des eaux. De plus ils n'étaient vraisemblablement conduits qu'avec une lente activité, puisque généralement on ne comptait guère plus de 100 ouvriers occupés dans toute l'étendue de cette vaste concession.

Si l'on ajoute à cela une grande dissémination, « pas de plan préconçu, » la rencontre d'anciens ouvrages dans des filons où on ne connaissait pas leur existence et l'imperfection des moyens, il sera facile de comprendre que sur de telles bases l'exploitation a dû subir des phases diverses de prospérité ou de malaise et que, dans tous les cas, les bénéfices n'ont dû rien présenter de saillant. Il résulte néanmoins de l'examen de tous les documents existant, que les filons se poursuivent dans les profondeurs et y présentent en beaucoup de points le minerai vierge et offrant probablement de grandes ressources pour les exploitants de l'avenir.

1844-1862. — Les mines de Saint-Martin, acquises par de nouveaux propriétaires, sont travaillées avec un capital insuffisant. On reprend les mines de Grézolles et de Juré sans y faire de véritables travaux d'exploitation. En 1855 les travaux reprennent plus d'activité et, de cette date à 1860, dans l'espace de six ans, on y dépensa une somme de près de 500,000 francs (448,098 fr.[1]).

En 1860 ces mines furent abandonnées de nouveau. M. l'ingénieur Lavigne, qui a particulièrement étudié la localité, a démontré que l'insuccès de ces travaux à cette époque était dû à plusieurs causes parmi lesquelles il signale le mauvais emploi du capital de premier établissement, dont la disparition sans profit a découragé les actionnaires, les frais exagérés du lavage des minerais qui s'élevaient à 6 fr. 60 cent. par 100 kilog., les pertes sur l'argent dans la vente aux fondeurs qui ne reconnaissaient qu'une teneur de 450 grammes pour des minerais tenant 630 grammes à la tonne de plomb, et enfin le bas prix du plomb.

Cet ingénieur constate que dans une seule année, où les dépenses s'élevaient à 138,000 francs et les recettes à 122,000, on aurait pu réaliser

1. Rapport de M. Lavigne.

60,000 francs de bénéfices, donnant 12 pour 100 du capital, au lieu d'une perte de 16,000.

Enfin, il démontre que la suspension de ces travaux est plutôt due à leur mauvaise gestion qu'à l'insuffisance des gisements.

Aujourd'hui ces conditions sont favorablement modifiées par suite de la hausse des prix des métaux, et les mines de Saint-Martin peuvent sans doute être reprises plus avantageusement que dans aucun temps. Il nous reste à dire quelle fut la production des mines de cette longue période de travail de 1729 à 1844 :

1729 à 1750.	33,600qx	de minerais de 48 à 50 p. °/. de plomb.
1751 à 1760.	15,800	—
1761 à 1770.	14,400	—
1771 à 1780.	18,000	—
1781 à 1790.	14,400	—
1791 à 1805.	15,500	—
1806 à 1825.	15,100	—
1826 à 1844.	2,880	—
1856 à 1860.	20,000	environ, dont 2,200 vendus aux potiers.
Total général....	149,680	quintaux métriques.

Total exploité par les Blumenstein : 129,680 quintaux métriques en 115 ans, soit annuellement 110 tonnes environ.

Examen des principaux filons. — Nous ne saurions mieux faire que de reproduire les descriptions données par M. Gruner.

Filon de Marcilleux. — « A 1,000 mètres au sud de Chavagneux, on a « exploité le filon de Marcilleux; c'est le prolongement du filon de Gré- « zolles, dit Jars en 1781. Dans tous les cas, il rejoint ce dernier et ap- « partient au système des filons de Juré-Grézolles. On voit son affleure- « ment au pied de la gorge qui limite, à l'Est, le plateau de Marcilleux, « et, en gravissant le coteau lui-même, depuis ce point, dans la direction « du village, on rencontre dans les champs les débris du filon, c'est-à- « dire du quartz carié blanc, de la baryte sulfatée et de la galène; le ter- « rain encaissant se compose de grès porphyrique sur le haut du plateau, « et de schistes carbonifères dans la partie basse.

« Une galerie d'écoulement et de roulage a été établie sur le filon en « 1770, dans le fond de la gorge dont je viens de parler. A son embouchure « on voit encore des fragments de quartz et de baryte sulfatée empâtant « de la galène, de la blende, de la pyrite de fer ou de cuivre. On a « exploité ce filon pendant 25 ans, mais d'une manière peu active et sans « y faire jamais de notables bénéfices.

« Dans le mémoire du 3 brumaire an III, Blumenstein assure que le « produit de cet ouvrage n'a jamais été bien fort, la mine fut aban-

« donnée en 1795. Selon Köning, le minerai rendait 70 pour 100 de « plomb et 2 onces d'argent pour 100 livres de plomb d'œuvre, soit 125 « grammes aux 100 kilog.; mais un échantillon pris sur les haldes ne « m'a donné que 15 grammes. Y aurait-il sur ce point deux filons dif-« férents? »

Il est possible qu'il en soit ainsi, et dans tous les cas des minerais d'une teneur très-variable peuvent se rencontrer dans un même filon; ici, il est probable que l'ingénieur Köning a donné l'analyse des minerais préparés.

Filon de Garait. — « On connaît plusieurs filons dans la commune de « Saint-Marcel-d'Urfé. L'un d'eux, celui du Garait, a produit beaucoup « de minerais pendant quelques années. On y a rencontré une épaisse « colonne de minerai massif, dont la puissance s'est accrue, en quelques « points, jusqu'à 1^m50. C'est un renflement qui permit au sieur de Blu-« menstein de rembourser à ses créanciers, dans les années de 1758 à « 1763, une somme de 150,000 livres, et qui fournit, dans la seule année « de 1758, 5,600 quintaux anciens de minerai. Malheureusement, ce massif « fut bientôt épuisé, et, au-delà, dans les parties voisines, le filon s'est « montré partout stérile.

« Ce filon encaissé dans les schistes carbonifères fut découvert en « 1751; et il fut exploité sans discontinuité jusqu'à 1764. Le minerai s'est « bien soutenu jusqu'au niveau de la galerie d'écoulement, percée à « 14 toises des affleurements. En ce point, on fonça un puits dans la co-« lonne même, mais déjà, à 13 toises au-dessous de la galerie, le minerai « se trouva réduit à de simples mouches. En même temps les frais « étaient devenus considérables, à cause des eaux et de la friabilité des « parois du filon.

« Cependant des massifs analogues pourraient se rencontrer sur d'autres « points du même filon. On aurait dû le suivre avec une persistance « plus grande, soit en direction, soit en profondeur. »

L'analyse d'un échantillon de minerai trouvé sur les haldes a produit à M. l'ingénieur Lavigne 73 pour 100 de plomb et 84 grammes d'argent aux 100 kilog. de plomb d'œuvre. Sa valeur intrinsèque dépasserait donc aujourd'hui 500 fr. la tonne.

Parc de Neufbourg. — Ce filon, situé dans la même région que le précédent, a été découvert en 1862. La direction est h. V à VI, on y voit une veine métallique massive de 0,07 d'épaisseur dans un filon de quartz ferrugineux.

Job. — Il a été attaqué par de Blumenstein au moyen d'une galerie de 200 mètres environ. Il fut abandonné à l'époque de sa mort.

En 1860 on y fit quelques explorations qui furent arrêtées au moment de la suspension de tous les travaux.

Soulagette. — Aux environs de Saint-Thurin on découvrit, en 1838, une veine de galène de l'épaisseur de quelques centimètres entre deux salbandes argilo-ocreuses, mais auprès du hameau de même nom on peut remarquer un gisement de fer oxydé d'une puissance de 5 à 6 mètres que l'on a exploité pendant quelque temps comme minerai de fer.

M. Gruner considère ce gisement comme un amas superficiel pouvant provenir d'une source ferrugineuse qui aurait coulé à la surface du grès carbonifère; mais quand on observe les haldes des travaux peu profonds qui y furent faits et qu'on y trouve des fragments de sulfates et de pyrites de cuivre; quand on voit aux environs de Saint-Thurin un grand nombre de filons de mispikel, on peut croire, jusqu'à nouvel ordre, que cet amas de fer représente le chapeau ferrugineux de quelque filon plus ou moins important de plomb ou de cuivre.

Filon de Grézolles. — C'est l'un des plus remarquables filons de la concession de Saint-Martin. « Sa puissance est considérable; Jars dit qu'elle « varie de 3 à 4 pieds jusqu'à dix et douze, soit de 1 à 4 mètres. Les épon- « tes sont généralement friables, et consomment beaucoup de bois. Le « minerai s'y présente en veines et colonnes isolées. La gangue se com- « pose, outre les débris de la roche encaissante, de quartz et de baryte « sulfurée en égales proportions. A la galène se trouve partout mêlée de « la blende et du cuivre pyriteux.

« Deux échantillons ont donné à l'ingénieur Köning les teneurs sui- « vantes :

« 1° Minerai en morceaux, 73 pour 100 de plomb;
« 1° 4 gros d'argent aux 100 livres,
« Soit 93 grammes aux 100 kilog. de plomb;
« 2° Minerai préparé, 75 pour 100 de plomb,
« 1° 6 gros d'argent aux 100 livres de plomb,
« Soit 109 grammes aux 100 kilog. de plomb. »

Les analyses de M. Lavigne ont donné 70 pour 100 de plomb et 95 grammes d'argent aux 100 kilog. de plomb.

« Ces teneurs rendraient possible l'affinage du plomb d'œuvre, même « sans employer le procédé de concentration dû à Patinson, mais la « famille de Blumenstein n'a jamais séparé l'argent contenu.

« A 40 toises au S. O. du filon principal, la galerie d'écoulement tra- « verse un filon parallèle de moindre importance, mais qui néanmoins « a pu être exploité avec avantage à cause de la solidité de ses épontes. « Sa puissance varie de 0,50 à 0,65 sur lesquels le minerai occupe, en « certains points, 0,12 à 0,15. »

Les travaux proprement dits n'ont commencé qu'en 1763. Ils ont été poursuivis jusqu'à la fin du siècle. La galerie d'écoulement la plus basse est ouverte au niveau de l'Aix ; sa longueur est de 400 mètres et elle se continue dans le filon qu'elle a poursuivi sur près de 600 mètres[1].

Dans les moments les meilleurs, cette mine fournissait annuellement jusqu'à 3,000 quintaux anciens (1,440 quintaux métriques) de minerai, et « elle ne donna réellement de produits importants que de 1770 à 1780. » Au moment de l'abandon du grand filon, on attaqua le filon latéral dont nous venons de parler. « Ce dernier est épuisé au-dessus du niveau de « la vallée, mais à peu près vierge dans les niveaux inférieurs. Les puits « inclinés, foncés en reconnaissance au-dessus de la galerie, n'ont dé- « passé nulle part 15 à 16 mètres sur le grand filon. Les eaux gênaient « les travaux entrepris au treuil à bras. »

Le filon latéral fut exploité sur 400 mètres en direction, et jusqu'à 30 mètres au-dessous de la galerie d'écoulement. En 1807 on commençait un puits pour atteindre un niveau inférieur : « le minerai se main- « tenait sur tous ces points, et on se proposait même d'établir des pompes « mues par un manége. »

En 1854 de nouveaux travaux furent entrepris sur le filon de Grézolles, au-dessous de la galerie d'écoulement, et on pénétra en même temps dans les deux filons voisins, dits *filon bourru* et *filon Bargeat*.

Le premier de ces deux filons était très-irrégulier, mais le second, qui vient rencontrer le grand filon, a produit une quantité notable de minerai. D'après l'opinion de M. l'ingénieur Lavigne, c'est ce filon qui aurait été l'objet de toute l'exploitation de 1854 à 1860.

Cet ingénieur estime que le produit du filon de Grézolles était, par mètre carré de filon, de 100 kilog. de minerai à 70 pour 100 de plomb.

La teneur des minerais envoyés à la laverie était de 4 à 10 pour 100.

Filon de Durel ou Juré. — Ce filon se trouve dans la direction du précédent, et quoiqu'il en soit distant d'environ 3,000 mètres, on peut le considérer comme en étant le prolongement ; c'est ce qu'admettait l'ingénieur König en 1766.

« Entre le filon et l'Aix au mur du gîte, règnent principalement des « schistes carbonifères fort durs et siliceux ; plus au Nord et dans la « partie supérieure, le grès porphyrique et le porphyre granitoïde. L'une « et l'autre roche sont d'ailleurs traversées par des dickes et des por- « phyres quartzifères.

« Ce filon a une puissance variant de 1^m à $1^m,50$ à 2 mètres. Il est « régulier et ne renferme le minerai que par massifs ou colonnes « isolées.

1. Les travaux récents ont démontré que le développement de cette galerie sur le filon n'était que de 493 mètres.

« Il renfermait dans la partie haute, principalement de la baryte sul-
« fatée qui, plus bas, fit place au quartz et la galène y devint plus
« abondante.

« Elle est accompagnée d'un peu de blende, de pyrite cuivreuse et
« ferrugineuse, de spath fluor en masse cristallisée et de rares cristaux
« de spath calcaire ferro-magnésien.

« Les épontes se composent en grande partie de schistes plus ou
« moins ramollis, difficiles à soutenir sans boisages. Des débris de
« schistes composent aussi en partie le remplissage du filon.

« Outre le filon principal on a longtemps exploité une assez belle
« veine latérale qui, tantôt, se réunit au tronc, tantôt s'en détache jus-
« qu'à la distance de plusieurs mètres. »

Ce filon a été particulièrement travaillé dans les temps anciens, et « de Blumenstein le trouva épuisé sur une hauteur de 110 mètres et « à plus de 30 mètres au-dessous du niveau de l'Aix. » Les travaux postérieurs sont descendus jusqu'à 75 mètres au-dessous de ce torrent.

On y était parvenu, vers 1820 à 1825, à l'aide d'une machine à vapeur intérieure et l'on avait rencontré le filon vierge. « Malheureusement « l'installation de cette machine était vicieuse. Elle ne rendit pas les ser- « vices que l'on attendait, il fallut y renoncer et la démonter. » On dut renoncer alors aux travaux productifs dans la profondeur; on se contenta de glaner dans les vieux travaux, et en 1834 on abandonna la mine.

On y est rentré, en 1850, mais sans entamer les niveaux inférieurs : ce filon a donc été exploité très-grandement d'abord par les anciens du moyen âge, et plus tard de 1790 à 1800 comme de 1815 à 1825.

Le minerai trouvé sur les haldes a donné à l'ingénieur König 60 p. 100 de plomb et 125 grammes d'argent aux 100 kilog. de plomb. Des analyses récentes ont donné aussi à M. Lavigne 55 pour 100 de plomb et 100 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb. D'autres échantillons n'ont fourni que 28 grammes d'argent.

Les pyrites de cuivre se trouvent quelquefois assez abondamment dans ce filon. Il est remarquable de voir aussi que les travaux, étendus sur une longueur de 300 mètres environ dans le sens de la direction, se développent entre deux failles qui, de chaque côté, arrêtent brusquement le filon, et que celui-ci conserve au fond des travaux actuels tous les caractères métallifères et une épaisseur notable de galène.

L'avenir pourra donc profiter vraisemblablement des parties du filon rejetées au delà des failles où elles paraissent être intactes, et retrouver, dans la profondeur, le prolongement de sa richesse métallique.

Filon de Charmet ou Charmay. — Il est situé sur le versant nord du mont d'Urfé, et à une distance de 2 à 3,000 mètres de celui de Juré. Ce filon a été l'objet d'une exploitation considérable dans le temps des comtes du Forez et dans le siècle dernier. Cette exploitation fut poursuivie au mi-

lieu des anciens travaux, sans qu'on ait entrepris aucun ouvrage de profondeur. « On l'abandonna, dit M. Gruner, en 1770, sans avoir fouillé le « fond des anciens travaux, mais l'importance de ces derniers indique « qu'il a dû renfermer des massifs riches. »

La puissance du filon atteint 8 à 10 pieds, d'après König, c'est-à-dire plus de 3 mètres.

Les minerais analysés ont donné 64 pour 100 de plomb et 90 grammes d'argent; et 60 de plomb et 108 grammes d'argent.

Ce filon paraît pouvoir être facilement attaqué et mérite une reprise sérieuse.

Filon de Grézollette. — Parallèle à celui de Grézolles; il court de Grézollette sur l'Argentière. Il se compose de deux veines dont la plus forte a 0,50 à 0,60 d'épaisseur, encaissées dans le porphyre granitoïde. Les épontes sont friables et la gangue quartzeuse. De Blumenstein y trouva beaucoup de minerai, mais il fut gêné par les eaux, et le filon fut rejeté par une faille, au delà de laquelle il paraît être intact. On n'y employait alors que 15 à 16 ouvriers, et la production annuelle ne dépassa pas 2 à 300 quintaux.

Cependant, « suivant l'ingénieur König, les frais étaient couverts et ils laissaient quelques bénéfices. » Ce filon a été délaissé depuis le commencement du siècle actuel.

Les travaux ne paraissent pas s'étendre au-dessous du ravin de Grézollette. La galène a donné 73 pour 100 de plomb et 105 grammes d'argent aux 100 kilog.

Serveaux, continuation du filon de Grézollette.— Fut repris vers 1860. On y trouva, d'après l'ingénieur qui alors dirigeait la mine, une colonne de minerai donnant 5 à 700 kilogrammes par mètre carré. On pénétra au-dessous des anciens travaux de Blumenstein, mais on fut obligé de se retirer faute d'air. La gangue est baryto-quartzeuse; épontes friables.

Puissance. — 0,60 à 0,80.

Grandes Chazelles et Nollieux. — Prolongement du filon précédent.

Filon de Poyet ou de Champoly.— C'est l'une des mines les plus importantes du Forez : « celle dont la production a été la plus considerable et « la plus constante de 1729 à 1770. De 1730 à 1750 la mine occupa 50 à « 80 ouvriers produisant, en moyenne, par année, 2,500 à 3,000 quin- « taux anciens et, à certaines époques, jusqu'à 4,000. » Les travaux y furent poursuivis jusqu'à 1809.

Ce filon avait été exploité antérieurement et au temps du moyen âge, dans les parties supérieures.

Il est encaissé en partie dans le porphyre granitoïde et, en partie, dans les orphyres quartzifères et les schistes trappéens du mont d'Urfé.

Il se compose de deux veines, l'une dite le *grand filon* et l'autre la *veine latérale.*

Puissance. — Celle du grand filon paraît être de 1m50 à 2 mètres. Salbande argileuse et faces de frottement bien caractérisées.

Inclinaison. — 80 à 85° au Nord.

Gangue. — Principalement quartzeuse et un peu barytique.

Minerai. — Galène mélangée d'un peu de blende, donnant, d'après König, 70 pour 100 de plomb et 1 once d'argent aux 100 livres de plomb, soit 60 à 65 grammes aux 100 kilog. de plomb.

Des analyses récentes ont donné 62 pour 100 de plomb, et 96 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

M. l'ingénieur Lavigne, d'après l'examen des travaux exécutés, estime à 32,864 mètres carrés la superficie totale du filon explorée, et la superficie utile à 24,650.

Les produits obtenus ayant été d'environ 5,240 tonnes, on voit que chaque mètre carré utile a produit environ 213 kilog. de minerai bon à fondre.

Les documents montrent que ce minerai était disposé par colonnes qui vraisemblablement devaient, dans bien des points, donner lieu à un rendement beaucoup plus considérable.

La galène ne paraît pas être le seul minerai qu'on rencontre dans le filon du Poyet; M. Lavigne a reconnu dans les déblais, non-seulement des pyrites de cuivre disséminées dans la gangue quartzeuse, mais encore du cuivre gris argentifère, paraissant se rattacher à une salbande d'une épaisseur de 0,01 à 0,15 et donnant 200 grammes d'argent aux 100 kilog.

« Ce filon a été exploité pendant 80 ans, et pendant cet espace de « temps, on l'a suivi en direction, sur plus de 500 mètres, et en hauteur, « sur environ 130 mètres, c'est-à-dire jusqu'à 64 mètres au-dessous du « niveau de la galerie d'écoulement, ou 175 mètres au-dessous du point « le plus élevé de la crête du filon. »

Le niveau le plus inférieur des travaux est encore supérieur au fond de la vallée, et tout porte à croire qu'il est possible d'en reprendre aujourd'hui l'exploitation en profondeur.

Il est digne de remarque que ce filon a été interrompu brusquement par une faille au delà de laquelle il n'a pas été recherché et où il peut exister intact sur toute la hauteur qu'on lui connaît.

Enfin, il nous reste à dire qu'au moment de l'abandon des travaux, au commencement du siècle, en 1809, le minerai se montrait toujours dans la profondeur, mais l'abondance des eaux que l'on tirait à bras d'hommes et la dureté de la roche encaissante créèrent des obstacles qu'on n'essaya pas de surmonter.

A cette époque, la mine était exploitée par des tributaires qui vendaient le minerai extrait à la fonderie de la Goutte. Les ouvriers, pour abattre les minerais les moins coûteux, abandonnèrent les fonds, qui

furent bientôt noyés, et lorsqu'on voulut remédier à cet état de choses et épuiser les eaux, on dut reconnaître l'impuissance des moyens dont on disposait.

Ces circonstances déterminèrent bientôt l'abandon définitif de la mine.

Nous n'entrerons pas dans d'autres détails sur les divers filons de la concession de Saint-Martin, ni sur les tentatives diverses dont ils ont été l'objet; on retrouvera tout ce qui les concerne dans le travail de M. Gruner sur la géologie de la Loire.

Les éléments que nous avons donnés suffisent, ce nous semble, pour permettre de juger, sinon d'une manière absolue, au moins très-approximativement que, dans les temps actuels, avec les moyens que l'on possède, et en profitant de l'argent des minerais que Blumenstein n'extrayait pas, ces mines peuvent être avantageusement reprises, à la condition toutefois, pour elles, comme pour toutes en général, d'être conduites avec économie, sans état-major, et tout autrement que l'on a fait de 1855 à 1860.

Cette opinion acquiert une consistance très-grande quand on voit la grande étendue des filons qui, pour quelques-uns, dépasse 14 kilomètres, le nombre et la puissance de ceux de Saint-Martin, et quand on se rappelle ce qui s'est passé dans le Cornouailles en Angleterre.

Dans ce pays, en effet, les mines de plomb et argent, travaillées an ciennement avec beaucoup d'activité dans le douzième siècle, furent abandonnées comme un grand nombre de mines semblables de l'Europe, à tel point que, en 1758, on n'en comptait plus qu'une. Elles furent reprises après la découverte de Patinson, et le Cornouailles qui, d'après Labéche, ne produisait que 180 tonnes de minerai en 1839, en produisit annuellement plus de 40,000 de 1845 à 1850, quoique la teneur moyenne de l'argent ne fût que de 108 grammes aux 100 kilog. de plomb.

Enfin, il n'est pas encore dit qu'on ne trouvera dans ces contrées que des minerais peu riches en argent. Déjà la présence du cuivre gris argentifère y a été reconnue, et dernièrement (1873), à *Saint-Priest-la-Roche*, sur les bords de la Loire et non loin de la concession, on a fait des travaux de recherche sur un filon de galène à la teneur de près de 500 gr. d'argent aux 100 kilos de plomb.

Il ne paraît donc pas douteux qu'on puisse tirer encore un grand parti des filons de Saint-Martin quand on voudra y déployer l'activité nécessaire et correspondante aux besoins de l'activité industrielle actuelle.

Mines de Saint-Julien. — Elles sont toutes situées au pied oriental de la chaîne du mont Pilat, dans l'espace triangulaire compris entre les villes de Bourg-Argental, Andance et Condrieu. Ces mines se relient à celles qui furent ouvertes sur la rive gauche du Rhône à côté de Vienne.

Historique. — Les filons de Saint-Julien paraissent avoir été peu travaillés par les anciens. Concédés en 1717 à la famille de Blumenstein, le privilége fut étendu en 1726 à dix lieues à la ronde, autour du bourg de Saint-Julien, dans les provinces du Forez, du Languedoc, du Dauphiné et du Lyonnais.

L'exploitation, poursuivie sur un grand nombre de filons, fut maintenue jusqu'à 1831, avec des périodes diverses de fortune ou d'embarras.

La période la plus florissante correspond aux années 1750 à 1755, et, à l'époque de la Révolution et de l'Empire, les travaux ne purent se soutenir qu'à la faveur des prix élevés du plomb. A ces époques, les minerais purs se vendaient 50 à 60 francs les 100 kilos, au lieu de 30 et 40, prix le plus élevé de l'époque antérieure. En 1791, l'alquifoux coûtait même jusqu'à 40 francs le quintal ancien.

Depuis 1770 la production, qui s'était élevée à 14,000 quintaux de minerai, diminuait; elle atteignait rarement 5 à 6,000 avec 200 ouvriers, et descendit même au-dessous, non à cause de l'appauvrissement du filon, mais par suite de l'accroissement des difficultés d'abatage et d'épuisement des eaux.

L'histoire des mines de Saint-Julien, dit M. Grüner, de 1720 à 1830, peut se résumer en deux mots : vivre au jour le jour, attaquer et abandonner, puis reprendre les filons ; il n'y a là nul travail d'ensemble, aucun vaste système d'épuisement destiné à relier les filons les uns aux autres.

La reprise de ces mines, ajoute-t-il, paraît impossible aujourd'hui (1852) à cause de la faible puissance des filons et de la faible teneur de leurs minerais en argent, teneur qui ne dépasse généralement pas 23 à 30 grammes aux 100 kilos; seuls, un certain nombre de filons blendeux, comme ceux de la Combe-Broussin, mériteraient d'être exploités au point de vue de l'alimentation d'une usine à zinc comme celle de Vienne.

L'extraction totale des mines de Saint-Julien, de 1717 à 1840, a été :

De 1717 à 1739	100,000	quintaux anciens.
De 1740 à 1770	270,000	—
De 1771 à 1790	110,000	—
De 1791 à 1810	75,000	—
De 1811 à 1830	40,000	—
De 1831 à 1840	10,000	—
	605,000	—

soit environ 30,000 tonnes, qui ont rendu environ 10,000 tonnes de plomb et 4,000 tonnes d'alquifoux.

Les principaux filons connus autour de Saint-Julien, dans les départements de la Loire et de l'Ardèche, existent dans trois districts principaux, qui sont :

1° Dans le district de Saint-Julien, quinze à vingt filons sont concentrés

le long d'une crête de granite schisteux, la *Combe-Broussin*, qui va de Saint-Marcel-d'Annonay à Saint-Pierre-le-Bœuf, sur une longueur de 8 à 10 kilomètres ;

2° A l'ouest de cette première zone, les filons mêmes de *Saint-Julien-Molin-Molette*, situés sur le prolongement de ceux de la Combe-Broussin;

3° Plusieurs groupes de filons traversant les communes de *Félines*, *Peaugre*, *Vernosc* et *Talencieux* dans l'Ardèche.

Tous ces filons, encaissés dans un granite schisteux, courant dans la direction N. O.-S. E., ont été explorés ou plutôt exploités, d'une manière plus ou moins suivie, de 1720 à 1830. Ceux de l'Ardèche et notamment ceux des environs de Talencieux, repris dans ces dernières années, ont été l'objet de travaux assez étendus.

Parmi tous ces filons, nous distinguerons :

Dans la Loire :

Le filon de *La Pause;*

Le filon de *Combe-Noire* et *Revoin*.

Filon de la Pause. — *Direction :* h. 8 1/4 de la boussole, ou 56 N. O., 56 S. E.

Inclinaison : 65 à 70 du sud au nord. Son étendue est de 4 à 5,000 mètres.

Gangue. — Le filon est formé de deux veines, dites le filon blanc et le filon rouge, souvent réunies, et dont l'écartement maximum, lorsqu'elles sont séparées, est à peine de 2 mètres. La gangue de la première est du quartz blanc légèrement calcédonieux, avec un peu de baryte sulfatée. Celle de la seconde est du quartz coloré par de l'oxyde de fer.

Roche encaissante : granite kaolinisé verdâtre, ébouleux au contact de l'air.

Puissance totale : 0,50 à 0,65.

Minerai : galène avec un peu de blende et de pyrites. Il est disposé en colonnes séparées par des espaces, presque entièrement stériles, de 50, 80 et même 100 mètres de longueur. L'une des plus grandes colonnes connues a 80 mètres de longueur sur 35 à 40 de hauteur suivant la pente du filon.

La galène tient, d'après Konig, 22 grammes d'argent aux 100 kilos plomb. Ce filon a été attaqué par des galeries d'écoulement et exploité sur 1,000 mètres en direction et 130 à 150 mètres en hauteur.

C'est, en raison de sa grande étendue, un filon important qui doit nécessairement se continuer en profondeur et qui doit renfermer encore de grandes quantités de minerai de plomb.

Mine de Bussy, peu éloignée de Saint-Germain-Laval. — Cette mine, qui fait partie du groupe filonien de Saint-Just-en-Chevalet et de Juré,

est probablement inconnue aujourd'hui (1873). Nous la signalons parce qu'un document de 1390 en constate l'existence à cette époque, et surtout parce que ce document nous donne des indications économiques susceptibles de modifier bien des idées.

Nous y voyons, en effet, les frais de fusion et les frais de main-d'œuvre beaucoup plus élevés qu'on ne le suppose généralement, si nous nous en rapportons, comme nous croyons pouvoir le faire, aux prix donnés par M. Leber, dans son livre : *Appréciation de la fortune privée au moyen âge.*

Ainsi, dans le document cité, on voit que la fonte d'un quintal de minerai était donnée à prix fait au prix de 10 sous tournois : « *Primo solvit Durando Seguin, plumbi fabro, pro fundenda* II *quintalia* XXIII *libras et dimidium* (*mina plumbi*) *pro qualibet quintali* X *sol. valentes* XXII *sol* VI *den.* »

Or, le sou tournois de cette époque valant $0^f,66$ de notre monnaie, sans tenir compte du pouvoir de l'argent qui le porterait à 2 francs (suivant Pierre Clément), nous voyons que la fonte de 48 kilos environ était payée au prix de $6^f,66$, soit environ 13 francs les 100 kilos, c'est-à-dire plus du double de ce qu'elle coûte aujourd'hui, sans les frais généraux.

« *Item solvit Stephano Aujardi, qui vacavit cum eodem* (*ad faciendum carbonem*) *per novem dies, pro dicta et expensis* XXII *solidos* VI *denarios turonensi.* »

Ce qui porte le prix de la journée à 2 sous 6 deniers, ou $1^f,65$, prix que l'on retrouve encore aujourd'hui dans bien des lieux de la France, et qui, dans tous les cas, est bien loin de ces différences énormes qu'on a l'habitude de signaler.

Filon de Gumières, cuivre. — On connaît plusieurs filons cuivreux dans le département de la Loire, mais le filon de Gumières paraît être, d'après M. Grüner, celui d'entre eux qui présente les meilleurs caractères.

Il forme la ligne de faîte de l'étroit promontoire granitique sur lequel est bâti le bourg de Gumières.

Direction : N. 30° O., parallèle à la vallée de l'Ozon.

Inclinaison : S. O. de 70 à 80°.

Puissance : $2^m,60$.

Gangue : quartz blanc, saccharoïde plus ou moins carié, veiné parallèlement au plan du filon.

Salbandes argileuses, *épontes* granitiques d'apparence talqueuse.

Minerai : pyrite de cuivre presque pure. — Consiste en deux veines minces à l'affleurement.

En 1839 et 1840, on y fit quelques tentatives, consistant en quelques galeries dont la dépense s'éleva à 7,000 francs. La présence de l'eau et la constance de la faible quantité de minerai firent suspendre ce travail.

Ces recherches laissent nécessairement le problème sans solution, et il n'est pas prouvé que ce filon ne se modifie favorablement à une pro-

fondeur plus grande, telle que serait celle d'une galerie d'écoulement prise à 70 ou 80 mètres au-dessous de l'affleurement.

Ces modifications dans la richesse ont été vues bien des fois dans des filons semblables, et notamment dans les Marèmes toscanes; on y a, en effet, rencontré l'un des filons quartzeux et cuprifères de la contrée présentant à peine les signes du minerai dans ses affleurements, et en renfermant cependant des quantités considérables au-dessous d'eux.

Gisement de la Pacaudière. — Il est situé près du village de *Crozet*, sur les collines qui dominent la station de la Pacaudière. Il est ouvert sur un filon dont les affleurements ferrugineux apparaissent au milieu de ces collines.

Direction : environ N. O.-S. E. (?)

Inclinaison : vertical.

Puissance : dépasse 1 mètre.

Roche encaissante. — Il est encaissé dans des roches granitoïdes décomposées.

Gangue : terreuse, feldspathique et kaolinisée.

Minerai : galène argentifère en boules et en rognons. Des minerais cuivreux ont été trouvés près de la surface.

En 1872, ce filon était l'objet de recherches consistant en puits et galeries.

Environs de Saint-Martin et de Dourzieu. — Des recherches y étaient en activité vers 1869. Elles furent suspendues par suite des événements de 1870.

Mine de Saint-Martin-la-Plaine, or. — L'or fut découvert en 1602 dans la commune de Saint-Martin-la-Plaine, près du hameau de Bissieux. Jars[1], en 1756, assure qu'il y avait autrefois une mine d'or dans cette localité et qu'il existait dans le trésor de l'abbaye royale de Saint-Denis une coupe d'or qui en provenait. « Mais, ajoute-t-il, il est certain que « les travaux de cette mine ont été comblés, parce que l'or était d'un « titre assez bas et qu'il était si difficile de le tirer qu'il ne payait pas « les frais d'exploitation. »

On y fit des recherches en 1745 et l'on y dépensa 6,000 livres sans aucun résultat avantageux.

D'après d'autres documents que cite M. Grüner dans la *Géologie de la Loire*, l'existence d'une mine d'or dans cette localité est positivement constatée. Les traces des anciens travaux ont complètement disparu, mais M. Grüner signale, à la surface du sol, la présence de fragments

1. Anciens minéralogistes.

d'un quartz blanc jaunâtre, différant entièrement du quartz blanc, qui proviennent vraisemblablement des anciennes excavations.

Il y a tout lieu de croire qu'un filon quartzeux aurifère existe en ces lieux; on pourrait l'atteindre facilement par une galerie d'écoulement située à 120 mètres au-dessous de ses affleurements. La reprise de ces travaux, dit M. Grüner, ne serait pas aussi déraisonnable qu'on pourrait le supposer, surtout quand on sait qu'à l'aide des procédés perfectionnés actuels on traite avec avantage « des filons quartzeux aurifères d'une teneur de 2 à 3 grammes d'or par tonne, et même, comme à Zell en Tyrol, qui n'en renferment pas plus de 1 gramme. »

Mines de cuivre de Saint-Héand. — Un grand nombre de mines qui ne nous sont pas connues existent encore vraisemblablement dans les montagnes de la Loire. Ainsi, en 1755, on demandait l'exploitation d'une mine de cuivre aux environs de Saint-Héand, mine qui aurait été en activité vers 1700 et qu'on aurait fermée alors parce qu'elle était travaillée sans autorisation[1]. Elle serait située à peu près à mi-chemin entre Saint-Galmier et Saint-Symphorien-le-Château, ou aux environs de Saint-Médard et de Chevrières.

Versants de la Loire. — On a signalé la présence de filons de galène, explorés récemment, situés sur les versants opposés à la vallée de la Brevenne, et donnant 300 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Violay. — M. l'ingénieur Poyet a fait remarquer que le filon de Joux-sur-Tarare, dirigé N. E.-S. O., comme ceux de Saint-Priest-la-Prugne et de Champoly, passait au clocher de Violay.

Rodier. — Enfin, Guillaume Paradin a signalé en Forez la présence d'une mine située dans la paroisse de Tiranges, « formée d'un métal extraordinaire tenant en soi l'alliage de plusieurs autres, » et rappelée par M. Bernard dans son ouvrage sur *les d'Urfé.*

Mine de Valfleury, antimoine. — Filon découvert en 1753. Il a été exploité jusqu'au moment de la Révolution.

Il traverse le gneiss dans la direction N.-S., et la gangue est un quartz gris traversé par des veines de minerai. Peu puissant. On pourrait le reprendre par une galerie d'écoulement.

Environs de Saint-Galmier. — Les collines qui bordent la plaine du Forez sont sillonnées par de nombreux filons. On n'y a pas signalé de galène, mais la baryte y est exploitée d'une manière permanente, et il

1. Gruner, page 256.

ne paraît guère douteux que ces gisements ne soient reliés avec des gisements plombeux, ou ne le soient eux-mêmes.

AUVERGNE.

Département du Puy-de-Dôme.

Le Puy-de-Dôme, le Cantal et une partie de la Haute-Loire constituent l'ancienne Auvergne. Cette province formait un royaume puissant au temps de la Gaule indépendante. Soumise aux Romains après la défaite de Vercingétorix, puis aux Goths, puis aux rois francs, elle fut successivement gouvernée par des comtes, des ducs, des dauphins, sous la suzeraineté d'Aquitaine ou de France, et fut enfin réunie, comme les autres provinces, à la couronne, en 1531, sous le règne de François Ier.

Cette contrée, fortement accidentée, âpre dans sa partie montagneuse et si riche dans ses vallées, est, en majeure partie, formée géologiquement par des roches cristallines, schisteuses, micaschistes, gneiss et stéaschistes, que traversent des masses de granites divers et des porphyres.

Les granites à grains fins et les porphyres sillonnent ces schistes dans un grand nombre d'endroits, et les granites à gros grains porphyroïdes constituent les plus grandes hauteurs, dominées elles-mêmes par les formations volcaniques, comme dans les Puys et dans les monts Dores.

La géologie du Puy-de-Dôme a été décrite d'une manière détaillée par M. Lecoq, et, en consultant les cartes de ce savant géologue, on pourra remarquer l'enchevêtrement des schistes et des granites, l'emplacement des coulées basaltiques qui, dans beaucoup d'endroits, recouvrent et les uns et les autres; un bassin houiller étendu qui traverse le département, d'une extrémité à l'autre, dans la direction N. E.-S.O.; et enfin de nombreuses sources thermales, derniers témoins des actions volcaniques passées.

Ce pays a été l'objet d'anciennes exploitations métalliques qui n'apparaissent que par des traces d'anciens travaux, des ruines, des scories et des déblais, comme dans la concession des mines de *Pontgibaud*, à *Roure*, aux *Combres*, et dans plusieurs autres endroits, à la *Péchadoire*, à *Blot-l'Eglise*, etc.; aux environs de *Montaigut*, de *Thiers*, de *Saint-Ambert*, de *Bourglastic* et d'*Issoire*. On les trouve dans ces massifs montagneux qui se relient, le long de la Dore, avec ceux du Forez dans le département de la Loire et de la Madeleine dans l'Allier, massifs que nous avons vus sillonnés par les filons de Saint-Just et des environs de la Prugne; dans les montagnes comprises entre la Dore et l'Allier, faisant suite au massif de la Chaise-Dieu, autour des monts Dore, et enfin dans les pays accidentés qui forment les deux rives de la Sioule.

Nous avons vu, dans le département voisin de la Loire, des faisceaux de filons se poursuivant sur de grandes distances, mais malheureusement n'ayant présenté jusqu'à présent qu'une richesse en argent très-limitée; dans le Puy-de-Dôme, on peut constater la présence de faisceaux semblables, mais surtout remarquables par leur étendue comme par la haute teneur de leurs minerais argentifères.

Le principal faisceau, signalé depuis longtemps par M. Fournet, que l'on connaisse aujourd'hui, traverse, pour ainsi dire, le département d'une extrémité à l'autre; il s'étend à peu près en ligne droite, dans une direction rapprochée de la direction N. S., depuis les mines d'antimoine d'*Angle* jusqu'aux environs de *Naddes* et de la *Lizerolle* dans l'Allier, où l'on retrouve des mines d'antimoine et de plomb. Sa trace est jalonnée par les filons de cuivre des montagnes de *Banson*, par les mines de *Roure* et de *Rosiers;* elle est masquée à *la Landine* par une coulée basaltique qui la recouvre, mais elle reparaît au delà du basalte dans les champs de *Labrousse* et de *Bromont;* enfin on la suit par les gangues jusqu'auprès de *Chapdes* où des déblais signalent d'anciennes exploitations, à *Blot-l'Église* et au delà jusqu'à *Naddes*, sur une distance d'au moins 70 à 80 kilomètres.

On voit sur ce faisceau des mines d'antimoine, de plomb et argent, de cuivre et d'étain, et on remarque qu'il paraît être en rapport avec un développement notable de ce même porphyre quartzifère qu'on retrouve dans d'autres contrées, notamment en Allemagne, et qui, depuis longtemps, a reçu le nom de porphyre métallifère.

Des mines de cuivre ont été aussi exploitées anciennement, notamment aux environs d'*Usson*, et, d'après Legrand d'Aussy[1], on en aurait tiré de l'or.

Enfin, de toutes ces excavations qui ont eu lieu dans les temps anciens, un grand nombre probablement nous sont encore inconnues; mais l'exemple que donne aujourd'hui l'exploitation des mines de Pontgibaud ranimera sans doute l'activité de l'industrie minérale dans ces contrées, et y inspirera peut-être ces sentiments de persévérance et de pratique qui ont souvent fait défaut et sans lesquels il n'est pas possible de recueillir le fruit des peines que l'on s'est données, ou celui des sacrifices que l'on a faits.

Les principaux gisements et les mines connus sont :

Saint-Amand-Roche-Savine, plomb, argent. Concédé en 1828 et 1831. 111 hect.
Montnebout, arrondissement de Thiers. Concédé en 1855. 561 hectares.
Joursat, plomb. Concédé en 1826. 116 hectares.
Courgoul et *Saurier*, plomb, argent. Concédé en 1828. 253 hectares.
Auzelles, plomb, argent. Concédé en 1869. 1,401 hectares.
Jumeaux (La Bruyère), plomb, argent. Concédé en 1827. 913 hectares.

1. *Voyage en Auvergne en* 1787, an III.

Combres (Pontgibaud), plomb, argent. Concédé en 1828. 471 hectares.
Barbecot (*Id.*), plomb, argent. Concédé en 1826. 617 hectares.
Roure (*Id.*), plomb, argent. Concédé en 1784, rectifié en 1866. 5,184 hectares.
Villevieille (près Bromont). Concédé en 1868. 517 hectares.
Banson, cuivre. Concédé en 1861. 422 hectares.
Beaubertie, arsenic, or, argent. Concédé en 1837. 51 hectares.
Pontvieux, or ou argent. Concédé en 1847. 940 hectares.
Olliergues, plomb. Concédé en 1828.
Joux et *Marboutin*, plomb et argent.
Auzat-le-Luguet, antimoine. Concédé en 1821. 641 hectares.
Anglebas, antimoine. Concédé en 1819, renoncé en 1855.
Chomadoux, antimoine. Concédé en 1828. 140 hectares.
Messeix, antimoine. Concédé en 1832. 51 hectares.
Saint-Sauves, antimoine. Concédé en 1843, renoncé en 1859.
Sagne, commune de Cunlhat, plomb, argent.
Usson. Anciens travaux de cuivre (Legrand d'Aussy).
Lavernède. Travaux anciens.
Blot-l'Église. Travaux anciens.
Pégu, commune de Vernet-Lavarenne, arrondissement d'Issoire, cuivre (Jusseraud).
Champagnanet, cuivre (Jusseraud).

Mines de Pontgibaud. — Ces mines, situées auprès de Pontgibaud, sur les rives de la Sioule, dans un pays ondulé, peu élevé au-dessus des eaux de cette rivière, et en quelque sorte au pied des Puys, comprennent les trois concessions de *Roure*, des *Combres* et de *Barbecot*.

Historique[1]. — L'exploitation des filons de ces localités remonte à des temps fort éloignés, et probablement au temps des Romains et à celui des comtes et des ducs, quand un grand nombre des mines de la France étaient en activité. Des dépressions du sol, des déblais et des scories disséminés sur les versants des montagnes ou dans les ravins révèlent le souvenir de ces anciens travaux dont la tradition fut longtemps perdue.

On pense qu'ils ont été activés pendant la période romaine, et cette opinion paraît démontrée par la découverte, dans les vieux ouvrages, d'objets qui semblent appartenir à cette époque; mais les documents les plus anciens que l'on possède ne remontent qu'à 1554, quand Henri II octroya la concession de ces mines au sieur de Lafayette.

D'après Belleforest de Comminges[2], on en retira alors beaucoup de profits. C'était d'ailleurs l'époque où les mines de l'Alsace, du Rouergue et de beaucoup d'autres endroits en France étaient en grande activité. On ignore l'importance des travaux de ce temps et les causes de leur

1. Mémoire de M. Guényveau. *Annales des Mines*, t. VII, 1832. — Mémoire de MM. Zeppenfeld et Rivot. *Annales des Mines*, 1850.
2. Anciens minéralogistes.

abandon. On sait cependant qu'en 1579, bien peu d'années après l'explosion des guerres religieuses, à l'exception des mines de l'Alsace, toutes les mines d'argent de la France étaient abandonnées, pour la plupart, par suite de ces guerres, et il n'est pas déraisonnable de croire que les mines de Pontgibaud aient subi les mêmes effets par suite des mêmes causes.

XVIIe siècle. — Les mines sont reprises sous le règne de Louis XIV par le duc de Lude[1] qui, d'après les intendants, les abandonna parce que les dépenses dépassaient le produit.

1739. Quelques travaux sont encore faits par la famille de Lude et la Compagnie de Chapdes. On n'en connaît pas les résultats.

1781. Travaux ouverts par une Compagnie lyonnaise aux Combres, à Roure et à Barbecot. On découvre les travaux anciens, aux Combres, en 1781, des vides considérables à Rosiers; on exploite plusieurs massifs de minerai à la vieille mine de Roure; enfin on construit une laverie sur la Sioule et une fonderie à Pontgibaud en 1790.

1792. Abandon des mines par suite des événements politiques.

1826. C'est à cette époque que commença l'exploitation réelle des mines de Pontgibaud dans les temps actuels, après plusieurs siècles, non pas d'oubli, mais d'abandon, et les tentatives que l'on fit alors, en l'absence de toute tradition, sans que l'on connût rien des travaux du passé, devaient traverser encore bien des phases difficiles avant de parvenir à mettre les mines dans l'état où elles se trouvent aujourd'hui.

De 1826 à 1838, les travaux, poursuivis par un seul propriétaire, sont conduits avec peu d'activité. On fait des recherches à Pranal, à Barbecot et aux Combres.

1838-1850. Formation d'une Société en commandite. Les travaux sont poursuivis plus activement. On commence les recherches à Rosiers en 1841. Pendant cette période, on rencontre des difficultés imprévues par suite du dégagement de l'acide carbonique dans les mines de Barbecot. Des accidents tels que des inondations surviennent, qui détruisent ou endommagent les laveries de Pranal et Barbecot; les capitaux, déjà absorbés par des travaux considérables à l'extérieur, tels que chemins de fer, routes, constructions, canaux, fonderie, devinrent insuffisants; découragement des actionnaires, emprunts qui chargent les frais généraux.

Néanmoins, on avait découvert et exploité des colonnes de minerai; au 30 septembre 1847, on avait abattu 30,227 mètres cubes de filon et

1. Mémoires des intendants.

on avait fait 1,773 kilos d'argent, du plomb et des litharges, ayant une valeur ensemble d'environ 1,400,000 francs, pour une dépense totale de 2,700,000 francs, dans lesquels les frais d'exploitation, de manutention et transports, de fusion et divers, entrent pour 979,000 francs[1]; les frais généraux, comprenant aussi les intérêts d'argent et les constructions, absorbèrent le reste. On comprendra toutes les difficultés que dut rencontrer l'entreprise à cette époque, par suite d'une situation financière embarrassée.

1853-1873. Une nouvelle constitution succède à la précédente; les travaux sont dirigés par Richard Taylor, l'un des ingénieurs anglais les plus éminents du Royaume-Uni, et tout se transforme. On ne fait que les dépenses nécessaires et utiles, on pousse activement les recherches, on découvre de riches colonnes de minerai, et, dans la seule année de 1871, on avait produit 5,255 kilos d'argent, 1,169 tonnes de plomb, c'est-à-dire plus que dans les dix années de 1838 à 1847; enfin on avait fourni des dividendes et réalisé une réserve importante qui permet de pousser les travaux de profondeur, d'assurer l'avenir de la mine et de la conduire vers un état de prospérité que les anciens n'ont probablement jamais connu.

Si l'on réfléchit sur cet historique, on y trouve, ce me semble, de grands enseignements. Dans cette dernière période de 1838 à 1853, on peut admettre que l'absence des traditions dut créer bien des incertitudes et faire naître des tâtonnements coûteux dans les premiers travaux; mais il est permis de croire que bien des capitaux ont été employés trop tôt en constructions onéreuses, ainsi que cela a eu lieu sur d'autres points de la France, et qu'enfin les forces disponibles étaient épuisées avant qu'on ait achevé les travaux des mines les plus nécessaires et les plus aptes à reconstituer ces forces. Ce système n'a pas été suivi par les ingénieurs qui dirigent aujourd'hui les travaux. Ils se sont servis des constructions anciennes dont ils ont profité, mais ils ont montré, par leur manière de procéder, qu'avec de bien moindres dépenses on aurait pu atteindre le but qu'on s'était proposé; ils ont consacré la plus grande part des fonds dont ils disposaient aux travaux souterrains et rigoureusement utiles. Il est probable que, si on avait agi de la même manière pendant la période de 1838 à 1850, on n'aurait pas rencontré tant de difficultés et d'obstacles, et il y a longtemps que les mines de Pontgibaud seraient en pleine production.

Enfin, d'après l'opinion d'hommes compétents, d'après les caractères des filons dont nous allons parler, d'après la richesse en argent de leurs minerais, et surtout d'après la manière dont les travaux y sont conduits, dont l'administration est dirigée, ces mines paraissent être au commen-

1. Grüner. Mémoire inédit.

cement d'une période nouvelle et prospère, placées désormais parmi les bonnes affaires industrielles. Elles sont vraisemblablement appelées à nous prouver que tous les obstacles dont on a si souvent parlé, comme l'élévation de la main-d'œuvre, etc., qu'on a tant de fois mis en avant pour expliquer l'abandon des mines de la France, n'existent réellement que dans l'esprit de ceux qui les expriment sans avoir suffisamment approfondi cette difficile question.

Gisements. — Ainsi que nous l'avons déjà dit, les mines de Pontgibaud appartiennent à un vaste faisceau métallifère qu'on retrouve dans les trois concessions de l'entreprise. Ce faisceau se manifeste aux lieux suivants, dans leur ordre de succession du sud au nord : *Roure*, *Rosiers*, *Lagrange*, *Mioche*, *Labrousse*, *Pranal*, *Barbecot* et *les Combres*, échelonnés, dans une direction rapprochée de la direction N. 15 E., sur une distance d'environ 8 à 9 kilomètres.

Ces lieux sont les centres des exploitations anciennes ou actuelles.

Dans les cinq premiers, l'ensemble des filons court à peu près parallèlement aux eaux de la Sioule, et il traverse ce torrent au nord de Pontgibaud en le recoupant presque à angle droit.

Sur les bords de la Sioule, on voit ainsi de nombreux affleurements et on distingue, à Pranal et à Barbecot, deux groupes de filons qui, d'après l'inspection des plans, paraissent devoir se réunir aux groupes principaux de Roure et de Rosiers au sud.

Au milieu de tous les filons que l'on connaît dans chacun de ces groupes, on distingue le *filon Saint-Marc*, que l'on retrouve à Roure, à Rosiers, qui se poursuit à Lagrange et à Mioche, et que l'on croit reconnaître au delà de Pranal, à Chalusset.

Ce filon, d'une puissance de 4 à 5 mètres, dans lequel on a trouvé des renflements d'une largeur de 10 mètres, présente une continuité et une puissance qu'on n'a retrouvées dans aucun autre; il paraît être le filon maître de la contrée, autour duquel viennent se grouper, dans des directions diverses, une foule d'autres veines et de filons plus ou moins productifs.

Tous ces filons sont encaissés dans le gneiss et le granite; ils passent au-dessous des coulées basaltiques que l'on voit sur les bords de la Sioule, et quelques-uns d'entre eux, notamment à Pranal, suivent ce même porphyre quartzifère qui semble accompagner le faisceau métallifère dans son développement et qu'on retrouve dans la même direction, ainsi que nous l'avons déjà rappelé, au sud, à Mont-la-Côte, et, au nord, à Saint-Pardoux et près de Blot-l'Église.

Remplissage des filons. — A l'exception d'un filon essentiellement quartzeux, tous sont généralement remplis par des gangues participant de la nature des roches encaissantes et, comme elles, essentiellement feldspa-

thiques et siliceuses. Ce remplissage est généralement composé de roches altérées et argileuses, dont la décomposition est d'autant plus grande qu'on se rapproche davantage de la surface. Le sulfate de baryte est généralement peu abondant, et là où on l'a rencontré en quantité un peu notable, il a été remplacé en profondeur par le quartz; la chaux carbonatée s'y trouve rarement; et enfin on y rencontre fréquemment des fragments de la roche encaissante. Les filons sont généralement munis de salbandes; quelquefois cependant elles manquent dans les parties minéralisées; on en rencontre sous forme d'argiles noires, avec quelques centimètres d'épaisseur, dans les parties stériles.

Minerais. — Ils consistent en galènes, lamellaire ou à grain d'acier, accompagnées d'un peu de blende, de pyrite de fer, de plomb carbonaté et arséniaté, quelquefois aussi de cuivre gris et rarement de mispikel. A la surface, ils se présentent parfois sous forme de phosphates. Dans certaines parties, la pyrite de fer devient très-abondante; mais, le plus souvent, on peut expliquer sa présence par le voisinage ou le croisement de filons pyriteux qui sont très-nombreux dans la contrée.

La galène se présente généralement en colonnes de largeur variable, ordinairement de 50 à 60 mètres, quelquefois de plus de 150 mètres, séparées par des espaces plus ou moins stériles; elles ont présenté, dans certaines parties, des massifs de 1 mètre de galène pure.

Jusqu'à ce qu'on ait poursuivi les travaux du filon dit filon de Labrousse, on avait remarqué que ces colonnes, partout où on les avait rencontrées, devenaient de moins en moins riches en se rapprochant de la profondeur de 100 à 120 mètres et cessaient même de renfermer le minerai au-dessous de cette profondeur. Cette disposition particulière semblait indiquer l'existence d'une zone métallifère presque horizontale, représentée par une série de colonnes ou plutôt d'amas lenticulaires. Le minerai disparaissait peu à peu au-dessous d'elle, sans que les caractères des filons ni leur puissance fussent modifiés; cette circonstance faisait considérer cette interruption comme simplement momentanée et permettait de croire que de nouveaux amas, peut-être encore plus riches, pouvaient être rencontrés à une profondeur plus grande. A Pontgibaud, on a confiance dans cette manière d'interpréter les faits, fondée d'ailleurs sur des faits analogues dans d'autres contrées, et l'on n'a pas hésité à entreprendre à la mine de Roure l'exécution d'un puits qui résoudra la question et sera sans doute le précurseur d'un important avenir. La disposition particulière de cette zone paraît pourtant ne pas être générale, car les travaux récents de Labrousse montrent une exception à l'appauvrissement constaté à la profondeur indiquée plus haut, et les amas s'y poursuivent plus profondément.

La teneur des minerais en argent varie de 300 à 500 grammes aux 100 kilos de plomb.

En 1872.

Les schlicks de Rosiers donnaient	48 °/₀ plomb		et 300 gr. argent aux 100 k. plomb.			
Les minerais non lavés	—	41	—	343	—	
Schlicks de Labrousse	—	52	—	331	—	
Minerai massif	—	45	—	439	—	
Schlicks de Pranal	—	41	—	312	—	
Minerai massif	—	33	—	310	—	

Il ne nous est pas possible de donner la description des nombreux filons connus à Pontgibaud, ou qui depuis vingt ans ont été l'objet de recherches ou de travaux, nous nous bornerons à en rappeler quelques-uns, parmi lesquels nous citerons les suivants :

Filon de quartz [1]. — *Direction :* h. 1 1/2.

Inclinaison : à l'est, presque verticale.

Puissance : 5 mètres.

Gangue : quartz saccharoïde très-dur. Il a été reconnu métallifère à la mine de Roure, mais il n'est actuellement (1873), autant que nous le sachions, l'objet d'aucun travail.

Filon Saint-Marc, à Rosiers. — Dans la région de Saint-Marc, son affleurement est marqué sur le sol par un chapeau de fer bien déterminé.

Direction générale : h. 1 à 2.

Puissance : variable de 4 à 5 mètres.

Ce filon est rencontré par un grand nombre de ramifications qui, sur son prolongement à Roure, étaient en 1872 l'objet d'une exploitation importante. On l'a poursuivi sur une longueur de 1,700 mètres.

Minerai. — Il se présente en colonnes, un peu inclinées vers le nord. qui, travaillées par les anciens jusqu'à 25 et 30 mètres de profondeur, ont montré des largeurs de 50 mètres et même de 150. La teneur en argent des minerais de plomb a varié de 350 à 600 grammes aux 100 kilos de plomb.

Il est rencontré par des croiseurs argileux qui renferment aussi des colonnes riches et puissantes. Ce filon et ces veines ont été reconnus stériles à la profondeur d'environ 120 mètres.

La Brousse. — Ce filon n'était indiqué, il n'y a pas longtemps encore, que par les traces de quelques travaux anciens, et par la présence de minerais de plomb phosphaté et carbonaté; il est situé à 600 mètres en-

1. *Annales des Mines*, 1850. — Mines de Pontgibaud.

viron à l'est du groupe en exploitation auquel il appartient. C'est un des beaux filons qui aient été reconnus par l'administration actuelle.

Direction, entre N. S. et N. 15 E. — On y a découvert et exploité une puissante colonne de minerai, et des recherches récentes en ont trouvé une nouvelle très-riche.

A *Pranal*, près des bords de la Sioule, on connaît depuis longtemps plusieurs filons, tels que les filons *Henri*, *Saint-Armand*, *Amantine*, *Saint-Mathieu*, mais c'est encore dans ces derniers temps, 30 ou 40 ans après que les premiers travaux y furent ouverts, qu'on y reconnut un nouveau filon dit le *filon Susanne*.

Ce filon se détache du *filon Henri*, auquel il n'était relié que par une ligne argileuse de quelques millimètres. En suivant cette ligne on a reconnu une riche colonne métallifère de 1 mètre à $1^{m}50$ de puissance, et de 40 à 50 mètres de largeur.

Cette partie de la concession était en 1872 l'objet de travaux importants, et on avait surmonté les difficultés qu'y avaient présentées le dégagement d'acide carbonique provenant du voisinage des basaltes.

La mine de Pranal est munie de pompes pour l'extraction des eaux et des gaz, et ces pompes doivent être mues par de puissantes roues hydrauliques animées par les eaux d'un grand canal.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur tous ces filons de Pontgibaud que la Société actuelle exploite avec tant d'activité. Il faudrait pour les décrire tous un travail spécial qui, tout intéressant et utile qu'il pût être, sortirait des limites de notre travail actuel. Nous ajouterons seulement qu'en 1872 des recherches ont été poussées au Sud et à l'extrémité des mines de Roure, vers Argentelle, dont le nom rappelle le prolongement des filons dans cette partie de la concession. On a reconnu des travaux anciens descendant aussi à 35 mètres de profondeur; on a recoupé des veines métallifères et argileuses dont la puissance en ce point est de plus de 30 mètres, et dans l'un des filons, dit le filon *Virginie*, on a trouvé une grande quantité de terrain productif renfermant de 250 à 500 kilos de riche minerai par mètre d'avancement[1].

C'est dans cette partie que l'on a découvert récemment un nouveau filon, dit filon *du Moulin*, dans lequel on a reconnu une riche colonne de 104 mètres de largeur.

Il y a donc de ce côté, pour l'avenir, un vaste champ d'exploitation que viendront accroître encore les travaux et les recherches exécutés sur la rive droite de la Sioule où les filons se prolongent sur de grandes étendues qui paraissent intactes.

En 1872 les mines de Pontgibaud occupaient environ 400 ouvriers à l'intérieur, dont 100 poursuivaient les travaux préparatoires, et 300 étaient occupés aux travaux de production.

1. Rapport de l'ingénieur.

En 1872-73 la production des mines était de 3,176 tonnes de minerai préparé, savoir :

Roure et Lagrange	1,266 tonnes.
Labrousse	1,296 —
Pranal	614 —

La fonderie achetait des minerais de Sardaigne ou de diverses mines du Puy-de-Dôme, et dans la même année elle a fondu en tout 4,398 tonnes qui ont produit 5,848 kilog. d'argent et 1,667 tonnes de plomb, représentant une valeur de 2,298,656 francs, obtenus avec une dépense de 1,479,607 francs.

On tenait en activité quatre laveries, dont trois à Rosiers, à Pontgibaud et à Barbecot, une quatrième près de Mioche occupée à laver d'anciens déblais.

Des études faites sur les produits de ces lavages avaient montré qu'une certaine quantité d'argent était entraînée par les eaux, ce qui donnait lieu de supposer que ce métal existait encore dans les minerais de Pontgibaud à un autre état que celui qu'offrent les sulfures plombeux. J'ignore si cette question est résolue, mais aujourd'hui on retient les sables et les schlams, et les procédés de lavage sont chaque jour de plus en plus améliorés.

L'épuisement des eaux, dans les groupes en exploitation, se faisait en 1870 au moyen de 4 puits : à Roure, un puits de 175 mètres, muni d'une machine à vapeur de 52 chevaux, et tirant 599 mètres cubes d'eau en 24 heures ;

A Lagrange, un puits de 130 mètres, machine à vapeur de 21 chevaux, tirant 155 mètres cubes en 24 heures ;

A Labrousse, un puits de 140 mètres, machine à vapeur de 45 chevaux, tirant 432 mètres cubes en 24 heures ;

A Pranal, un puits de 75 mètres, avec une machine hydraulique de 66 chevaux, tirant 529 mètres cubes d'eau en 24 heures.

En 1873 on fonçait activement, dans la région de Roure, un puits destiné à atteindre une grande profondeur, et on y installait une machine d'épuisement du système Cornouailles.

Sans entrer dans de plus grands détails, ce que nous avons dit suffit pour faire entrevoir l'importance actuelle des mines de Pontgibaud, et celle qu'elles sont sans doute destinées à acquérir ; si, de plus, nous réfléchissons sur les choses que nous venons d'exprimer, nous pourrons en déduire plusieurs faits importants utiles à rappeler au point de vue général de l'industrie, qui sont :

1° Que la trace des travaux anciens, à Pontgibaud comme dans les Vosges, a répondu partout à la présence de riches amas ou colonnes métallifères, dont on a trouvé le prolongement au-dessous d'eux dans la profondeur ;

2° Que les anciens ont laissé de riches colonnes non exploitées au milieu même de leurs travaux, ou auprès de leurs champs d'exploitation ;

3° Que les travaux peuvent être poussés au-dessous du niveau des vallées sans que l'épuisement des eaux soit un obstacle à leur développement, et qu'enfin la France possède des gisements capables de fournir des bénéfices importants malgré l'accroissement de la main-d'œuvre, etc.

Etain. — Près de l'extrémité sud du groupe métallifère de Roure et d'Argentelle, à l'est des filons plombeux, on a reconnu à la surface un filon d'oxyde d'étain.

Dès 1832, M. Fournet, alors directeur des mines et usines de Pontgibaud, signala un gite de tourmalines à émeraude dans les granites de Roure[1] et plus tard, en 1852, M. Poyet, alors ingénieur de ces mines, constata l'existence du wolfram associé au mispikel dans un quartz compact dirigé N. S., derrière l'hôtel du pont de la Miouse. Enfin, depuis cette époque, on découvrit un filon d'oxyde d'étain dont la présence se trouvait en quelque sorte déjà annoncée par la présence des minerais que nous venons de mentionner.

Direction. — A peu près E.-O.

Puissance. — 4 à 5 mètres. — *Inclinaison* au sud, presque verticale

Gangue quartzeuse.

Roche encaissante. — Gneiss.

Il est surmonté d'un chapeau de fer dans lequel on trouva l'oxyde d'étain. On a fait quelques recherches qu'on n'a pas poursuivies, mais qui ne paraissent être que suspendues.

La présence de ce filon encore inexploré, le wolfram qui a été rencontré ailleurs, dans les environs, les richesses métalliques reconnues dans le faisceau plombeux de Pontgibaud, nous semblent autant de faits qui doivent placer ces contrées parmi les contrées classiques les plus favorisées et tous les caractères qu'on peut observer donnent lieu de croire qu'elles ne failliront pas à leurs promesses.

Mine de Villevieille, plomb et argent. — Elle est située à Bromont et environs, près Pontgibaud. On y connaît particulièrement deux filons encaissés dans le gneiss, dirigés N. 70 O. à gangue de quartz cristallin avec salbandes argileuses et felspathiques. Dans ces derniers temps on en a extrait 120 tonnes de minerai qu'on a livrées aux mines de Pontgibaud.

On en a extrait 15,169 kilog. de schlick contenant 9,603 kilog. de plomb et 40^{k},967 d'argent, soit 63 de plomb et 270 grammes d'argent aux 100 kilog. Les travaux étaient suspendus en 1873.

1. *Annales scientifiques de l'Auvergne*, 1832.

Mine de Joursat. — Cette mine, située vers la limite sud-ouest du département du Puy-de-Dôme, près de la route de Clermont à Aurillac et à environ 4 kilomètres de Tauves, dans la commune de Singles et près du cours de la Dordogne, est ouverte sur un filon de galène peu argentifère. Elle était travaillée en 1788, et après quelques travaux de reprise faits à diverses époques dans le cours du siècle actuel, elle fut remise en activité vers 1861 et acquise en 1866 ou 1867 par la Société des mines de la Haute-Dordogne. Cette Société suspendit ses travaux vers le mois de novembre 1871.

Si l'on examine la carte de ces contrées, on y voit les affleurements d'une douzaine de filons au milieu d'une bande granitique de 5 à 600 mètres de largeur, sur laquelle s'appuie le gneiss à l'ouest et le terrain houiller à l'est, et courant dans la direction N. N. E.

Ces filons suivent trois directions distinctes et forment plusieurs groupes parallèles. Ces directions sont approximativement N. E., S. O., N. S. et E. O. Ils constituent des faisceaux groupés dans un espace de 48 à 50 hectares, et quelques-uns d'entre eux se prolongent dans les gneiss où on ne les a pas encore explorés.

Filon de Joursat. — Il possède une allure régulière sur une assez grande étendue dans le granite.

Direction. — H. 1 à 1 1/2, N. 15 à 20 E.

Puissance. — Elle atteint quelquefois 5 mètres.

Gangue. — Elle est presque exclusivement quartzeuse et granitique. La baryte sulfatée ne s'y rencontre qu'accidentellement, et provient généralement de filons croiseurs contenant peu de minerais de plomb.

Minerai. — Il est presque exclusivement formé de galène. Les minéraux qui l'accompagnent sont en très-faible proportion et se composent le plus souvent de pyrite de fer et de blende. Le cuivre gris n'a été rencontré que dans un des filons. Sa teneur en argent varie de 450 à 820 grammes par tonne de plomb[1], et il donne de 70 à 80 pour 100 de plomb. Suivant d'autres indications, la teneur du minerai dépasse rarement 35 grammes d'argent aux 100 kilog. de plomb, et 70 à 75 pour 100 de plomb.

De 1861 à 1865 ce filon a été travaillé avec beaucoup d'activité. Il a été attaqué par des galeries d'écoulement, et on a construit sur les bords de la Dordogne une laverie et une fonderie. On y avait reconnu trois colonnes métallifères importantes, mais la mort de l'ingénieur qui dirigeait alors les travaux avec beaucoup de sagacité entraîna pour ainsi dire la ruine de l'entreprise qui promettait d'être prospère.

1. Notice de l'Administration des mines. Exposition de 1867.

Pendant cette période, la faiblesse du fonds de roulement, l'oubli de créer une réserve à l'aide des produits résultant de la vente des minerais et une préparation mécanique outillée rudimentairement, furent probablement les causes des conditions difficiles que rencontra la Société, presque à son début, et des obstacles qu'elle ne put surmonter.

La Société de la Haute-Dordogne, qui succéda à la première, n'exécuta pas les travaux d'avenir que d'habiles ingénieurs avaient conseillés; la fonderie ne fut pas mise en activité. Après peu d'années, en 1871, les travaux furent abandonnés en laissant de grandes quantités de minerais au-dessous d'eux ainsi que tous les autres filons inexplorés, et cette Société, pour des causes qui nous paraissent fort compliquées, que nous n'avons pas à examiner ici, indépendantes de la richesse de la mine de Joursat, suspendit ses travaux.

La Dordogne coule à 124 mètres au-dessous des travaux les plus profonds du filon principal, à 180 mètres au-dessous du groupe des filons de Mouilloux; on peut donc ouvrir une galerie d'écoulement qui pourrait éloigner pour longtemps l'époque où on devrait se servir de machines d'épuisement.

Mine d'Auzelle. — Située au sud-ouest de Cunlhat, arrondissement d'Ambert; les travaux y furent commencés en 1866, sur un filon de galène argentifère encaissé dans le granit. En 1870 on n'y connaissait pas d'anciens travaux.

Puissance. — 3 mètres.

Minerai. — Il consiste presque exclusivement en galène d'une teneur variable en plomb et en argent.

Diverses analyses ont fourni :

Plomb..	41,65 °/₀	argent	217	grammes.
—	60	—	190	—
—	48	—	120	—
—	38	—	110	—
—		—	80	—

Sa nature varie souvent et elle est tantôt à grains fins et riche en argent, ou à larges facettes et pauvre. Au commencement de 1870 les laveries venaient d'être installées et on espérait produire 100 tonnes de minerai lavé par mois. A cette époque le minerai était vendu à Pontgibaud au prix de 280 francs la tonne. En 1874 les travaux y sont activement poursuivis.

Mine de Montnebout. — Située près d'*Augerolles*, arrondissement de Thiers, elle est ouverte sur un gisement encaissé, comme le précédent, dans le granite.

On y a reconnu deux ou trois filons qui d'abord furent explorés en

1850. L'exploitation sérieuse de cette mine ne date que de 1858. Elle fut suspendue en 1866 et a été de nouveau reprise en mars 1869 à 45 mètres de profondeur. Les travaux y sont poursuivis assez activement en 1874.

On y travaille un filon de 0,80, de puissance moyenne, qui paraît s'accroître avec la profondeur et dans lequel le minerai est disséminé irrégulièrement.

L'extraction s'y faisait, en 1870, par un puits de 60 mètres.

A cette époque le minerai qu'on en extrayait était vendu à Pontgibaud au prix moyen de 250 francs la tonne de schliks et 190 francs la tonne de schlams.

Concession d'Olliergues. — Un filon d'un mètre de puissance, quelques anciens travaux, au lieu dit Giroux. Cette mine n'était pas travaillée en 1872. Quelques recherches y ont été faites par la Compagnie de Pontgibaud, mais elles ont été abandonnées comme paraissant offrir trop peu de chances de succès.

Concession de Pontvieux. — Les mines qu'elle possède sont situées sur la route de Clermont à Aurillac, presqu'à la limite du départoment et au sud-ouest de *Tauves.*

D'après M. l'ingénieur Debette[1], les gîtes métallifères de Pontvieux sont situés dans une bande de « schiste argileux, ou thonschiffer des « Allemands, percé ou soulevé à l'est et à l'ouest par des basaltes que « l'on voit affleurer au jour, et qui sont accidentellement exploités soit « pour construction, soit pour l'empierrement de la route d'Aurillac. « Au contact des basaltes, le schiste argileux a éprouvé un métamor- « phisme qui l'a transformé en véritable gneiss. »

« Le lacet que forme la route nationale au delà de Pontvieux, sur la « rive gauche de la Burande, a mis au jour les affleurements d'un grand « nombre de filons métalliques, et nous a permis d'en compter au moins « dix-sept. »

Direction : elle varie de N. N. E.-S. S. O. à N. E.-S. O.

Inclinaison : 60 à 70° vers le sud-est.

Puissance : varie de 0,15 à 0,70. Elle s'élève parfois à 2 mètres.

Minerai. — Il se compose de substances complexes où domine la *jamesonite*, signalée depuis longtemps par Berthier, c'est-à-dire de sulfures de plomb et d'antimoine tenant or et argent associés à la pyrite de fer.

	Analyse de Berthier.	Analyse de M. Baudin.
Sulfure de plomb.	0,289	0,255
— d'antimoine.	0,273	0,202
Pyrites de fer.	0,235	0,176
Gangue pierreuse.	0,203	0,202
Sulfure de fer et de zinc.	»	0,165
	1,000	1,000

1. *Annales des Mines.* Note sur les gisements métallifères de Pontvieux.

L'essai par voie sèche a donné .

109gr,6 argent aux 100 kilos.
et 7gr,4 or —

Outre la jamesonite, les minerais de Pontvieux renferment aussi de la bournonite.

Ils se présentent en rognons, séparés les uns des autres par des roches pauvres ou tout à fait stériles.

Dans toute leur étendue, ces filons sont garnis de salbandes argileuses où se présentent des pyrites tenant aussi de l'or et de l'argent[1].

Des travaux y ont été faits à diverses époques; en 1872, ils étaient complétement abandonnés.

D'après M. l'ingénieur Lamy[2], les diverses explorations faites sur trois de ces filons ont montré une abondance de minerai assez grande jusqu'à une certaine distance des points d'attaque, puis tout à coup ils se resserraient et se réduisaient à une simple fissure peu encourageante pour l'établissement de travaux plus étendus.

Un pareil état de choses, dit M. Lamy, n'est pas normal, et il est à peu près sûr que si les travaux avaient été poussés plus avant, en franchissant, soit les appauvrissements, soit les resserrements qui se sont présentés, on n'aurait pas manqué, ou on ne manquerait pas, très-probablement, de retrouver les filons avec leur épaisseur ordinaire et avec du minerai.

Un de ces filons pourrait donner lieu à une exploitation importante et facile, car on peut y constater une régularité remarquable sur plus de 100 mètres de hauteur; on peut l'attaquer très-bas au moyen d'une galerie ouverte au niveau des prés de la Burande, et le minerai s'y présente avec abondance.

Mais les produits obtenus renfermeront-ils régulièrement l'or et l'argent qu'indiquent les analyses? pourra-t-on en extraire industriellement ces deux métaux? Telles sont les grosses questions qui ne paraissaient pas encore résolues en 1873.

On a extrait de ces mines environ 400 tonnes de minerai qui ont été livrées à diverses usines, et nous ne savons rien des résultats de leur traitement.

On voit donc, dans tous les cas, que cette mine mérite une sérieuse attention, mais qu'il serait probablement très-hasardeux d'y entreprendre des travaux avant de connaître exactement la valeur industrielle et commerciale des minerais ainsi que la manière de les traiter.

Mine de Saint-Amand-Roche-Savine. — On y connaît un filon de galène dans le granite, connu sur 6 à 700 mètres.

1. Compte rendu des ingénieurs, 1846.
2. Lettre inédite.

Puissance : 1m,50 à 2 mètres.

Gangue : quartz et chaux carbonatée.

On y avait construit une fonderie et une laverie.

Les travaux étaient suspendus en 1872, et, autant que nous puissions le croire d'après les renseignements qui nous ont été fournis, on peut trouver les principales causes de l'abandon de cette mine, à ce moment, dans l'immobilisation des capitaux disponibles avant que les travaux de la mine fussent suffisamment développés. Elle a été acquise par la Société de Pontgibaud, qui y poursuit aujourd'hui (1873) des travaux d'exploration.

Mine de Jumaux ou de *la Brugère*. — Plus de trente-cinq filons plombeux y ont été reconnus et, d'après M. l'ingénieur Bravard, on peut y distinguer quatre groupes ou faisceaux à la *Brugère*, *Brenet*, *Valenloye* et *Sarlandes*, enclavés dans le gneiss.

Ces filons ont été aussi décrits par M. l'ingénieur Dorlhac[1].

Direction. — Elle est généralement comprise en N. 40 O. et N. 60 O. Cependant on en rencontre qui se rapprochent de la direction N. S. ou E. O., et on en voit notamment un, entre *Mornac* et *Sarlandes*, quartzo-barytique, dont on peut suivre l'affleurement sur au moins 3 kilomètres, et suivant la direction E. 5 N. Ce filon est muni d'une crête indiquant sa trace à la surface du sol.

Puissance. — Elle est très-variable; elle varie moyennement de 0,30 à 1m,50.

Minerais. — La plupart de ces filons ont été travaillés jusqu'à peu de profondeur, 15 ou 20 mètres, pour l'extraction de la baryte, et on a remarqué qu'en descendant la baryte tendait à disparaître pour faire place au quartz et aux minerais plombifères.

D'après des analyses diverses, on a reconnu que leurs galènes rendaient :

A la Brugère, 70 de plomb et 0,00185 d'argent;

A Aubergier-Valenloye, 50 de plomb et 0,003 d'argent;

Et, en moyenne, 63,91 plomb et 0,002247 argent.

Il est disséminé dans des gangues de baryte et de quartz.

Dans le groupe de *Sarlandes*, on trouve de la blende, de la pyrite de fer à *Morissanges*, du fer arsénical et du mispikel à la *Brugère*.

On doit remarquer que ces filons, d'après les coupes données par M. Dorlhac, sont généralement zonés et munis de salbandes argileuses, et il est permis de penser que les minerais de plomb puissent y acquérir une eertaine importance en profondeur.

1. Étude sur les filons barytiques et plombifères des environs de Brioude.

La Compagnie de Pontgibaud, aujourd'hui propriétaire de ces mines, y a cependant fait exécuter des travaux de recherche qu'elle a abandonnés.

Lavernède. — Les travaux de recherche exécutés dans ces dernières années ont constaté une haute teneur en argent des minerais de plomb, et une gangue renfermant la chaux fluatée.

Joux et Marboutin. — Ces mines sont situées à peu de distance et au sud de *Montaigu*, près des limites du département de l'Allier.

D'après Duhamel[1], travaillées anciennement, elles auraient été reprises en 1720 et plus tard en 1755. Aucun travail n'y a été, croyons-nous, exécuté dans le cours du siècle actuel.

A *Marboutin*, on connaît trois filons parallèles dans le gneiss, dont deux ne sont écartés que de quelques pieds et le troisième en est distant de 25 à 30 mètres. Leur inclinaison est de 80° au N.-E.

On y avait ouvert cinq puits peu profonds, et les travaux y furent submergés par les eaux de travaux plus anciens inconnus.

Les affleurements barytiques sont très-apparents sur la montagne, et à quelque profondeur la gangue des minerais est de quartz, spath fluor et baryte.

Dans le dix-huitième siècle, on avait construit un four dans lequel on ne fondait que le minerai pur.

La mine de *Joux* est située un peu plus au sud de Montaigu que la précédente. Les environs de Joüx présentent les traces de nombreux filons. Leur direction, d'après Duhamel, est N. N. O.-S. S. E.

Le principal filon à gangue barytique a été reconnu sur près de 2,400 mètres. On y voyait les traces des travaux anciens de plusieurs époques. Il fournissait surtout des minerais de boccard et de la galène à larges facettes,

La situation de ces gisements semble appeler sur eux l'attention des travailleurs.

Mine du Pégu, cuivre, commune de *Vernet-Lavarenne*, arrondissement d'Issoire. — Elle fut reconnue, il y a peu d'années, par M. l'ingénieur Jusseraud. Elle consiste en un filon bien déterminé dans le gneiss.

Direction : N. E. S. O.

Inclinaison : 68 à 70° au nord.

Puissance : 1,50.

Gangue : quartz et argile feldspathique.

Minerai : pyrite cuivreuse; près de la surface, carbonates et oxydes de cuivre.

1. *Journal des Mines*, an III.

On peut suivre ce filon sur une longueur de 100 mètres, et il disparaît sous des alluvions au-dessous desquelles il paraît devoir s'étendre encore.

Le minerai a été trouvé compacte à l'affleurement sur une épaisseur de 0,30 à 0,40. Son analyse a produit les résultats suivants :

	A Paris.	A Saint-Étienne.
Cuivre..................	52,70	42,30
Fer....................	14,15	13,74
Soufre..................	16	24,66
Silice..................	7,05	16

Près de la mine se trouve un cours d'eau suffisant pour le lavage et le boccardage, et tout le pays, qui n'est qu'à environ 10 kilomètres de l'Allier, à 12 kilomètres d'un bassin houiller, est sillonné par de nombreux filons barytiques dans lesquels la baryte disparaît vraisemblablement en profondeur.

Champagnagnet. — Un second gîte de cuivre a été signalé auprès de ce pays. Le minerai, analysé par M. l'ingénieur Tournaire, a donné :

Cuivre....................	26,27
Soufre....................	24,76
Gangue....................	9,77

Usson. — *Legrand d'Aussy* écrivait en l'an III qu'aux environs d'Usson la tradition rappelait le souvenir d'anciennes exploitations de minerai de cuivre.

Mines de Banson, cuivre. — Ces mines, concédées pour cuivre, plomb et argent, ont été travaillées dans ces derniers temps, mais ces travaux ont été suspendus depuis environ quinze ans. Ainsi que nous l'avons vu plus haut, les filons dont on y a constaté la présence, encaissés dans le granite et dans les micaschistes, appartiennent au groupe métallifère qui passe à Pontgibaud, et, à ce point de vue, on peut croire que les recherches exécutées jusqu'à présent ont pu être insuffisantes pour justifier l'abandon actuel.

On y connaît trois filons dont un a été particulièrement travaillé; les deux autres ont été fort peu étudiés et n'ont été que simplement reconnus.

La puissance du filon principal est de 0,20 à 0,30.

Les minerais y consistent en pyrites cuivreuses et galène argentifère associées accidentellement à du plomb carbonaté, de la pyrite de fer et du mispikel, dans une gangue de quartz et de baryte sulfatée.

Diverses analyses ont fourni, pour 100 parties :

	Cuivre.	Plomb.	Argent.
	8,97	30,47	0,146
	14,83	14,19	0,066
	»	22,62	0,08
	»	15,17	0,033
et en moyenne	4,67	9,47	0,057

Mine de Beaubertie, mispikel. — Ce gisement est situé à la limite du Cantal. Il consiste en trois ou quatre filons dont un principal, le seul sur lequel on ait travaillé.

Puissance : 1 mètre à 1^{m},50, sur lesquels le mispikel occupe une épaisseur de 0,30.

Il fut principalement travaillé pour arsenic de 1840 à 1842 ; on transportait à grands frais les minerais à Brassac pour y être traités. A cette époque, les droits sur l'arsenic ayant été réduits de 16 fr. à 1 fr., l'exploitation dut être arrêtée ; elle était encore suspendue en 1872. Aujourd'hui, les conditions de cette mine changeraient peut-être par suite d'une plus grande facilité des moyens de transport.

Le mispikel, analysé par M. l'ingénieur Tournaire, a donné :

Quartz.	35,5
Soufre.	8
Arsenic.	25,9

Nous n'avons pas vu constater la présence de l'or et de l'argent dont parle le titre de concession.

Mines d'antimoine. — Elles sont généralement situées dans la partie nord-ouest du département. Plusieurs d'entre elles ont été exploitées activement dans le cours du siècle dernier; dans le cours du siècle actuel, elles ont été à plusieurs reprises activées ou abandonnées, suivant les prix ou suivant les moyens.

Parmi ces mines, nous rappellerons celle d'*Auzat-le-Luguet,* sur les versants du Cézalier.

Département du Cantal.

Ce département, qui se relie avec le Puy-de-Dôme au nord, la Lozère et l'Aveyron au sud, et la Corrèze à l'ouest, a été particulièrement étudié par MM. les ingénieurs Baudin et Tournaire, ainsi que par M. Rames qui en a fait la carte géologique, et a tracé sur cette carte les failles et les filons du terrain primitif.

Il offre l'une des sommités les plus remarquables de la France, et constitue en quelque sorte un immense cône volcanique émergeant d'un

plateau périphérique, à pentes abruptes, profondément accidentées, d'où descendent comme autant de rayons divergents une foule de ravins et de torrents dont les eaux s'écoulent dans le bassin de l'Océan.

Ce cône est presque entièrement composé, dans la partie centrale, par des conglomérats trachytiques. Les basaltes se montrent en plusieurs points, et tout autour de sa base, sur les bords extérieurs du département, apparaissent les granites, les gneiss, les micaschistes et les schistes talqueux qu'on retrouve dans les chaînes de la Margeride, du Cézalier, ou dans les départements voisins.

C'est dans ces dernières roches que se montrent les nombreux affleurements métallifères qu'on y connaît, et elles sont sillonnées par des filons quartzeux aussi imposants que ceux que nous avons vus jusqu'à présent.

Quelques-uns de ces filons qu'a observés M. l'ingénieur Tournaire[1] constituent aussi des murs naturels, des crêtes et des murs saillants. Le plus remarquable d'entre eux, dit-il, est celui que forme le filon de Turlande, près de *Paulhenc*, près des limites du département de l'Aveyron, qui coupe dans toute leur hauteur les ravins de la Trueyre. « L'élévation extraordinaire de ses roches, leurs découpures pittoresques, feraient des environs de Turlande, ajoute-t-il, l'un des sites les plus pittoresques et les plus dignes d'attirer l'admiration des curieux, si les difficultés des communications n'étaient des obstacles que peu de personnes peuvent affronter.

C'est, en effet, là l'une des grandes difficultés de ce pays, l'un des plus pittoresques que la France possède, et ces difficultés ont pu créer de grands obstacles pour l'exploitation ou pour la recherche des mines qui paraissent y exister sur bien des points. Aujourd'hui ces conditions y sont certainement améliorées par suite de la construction du Grand Central qui le traverse d'une extrémité à l'autre; mais il y existe encore des localités qui, à ce point de vue, sont complétement délaissées.

Principaux gisements et mines connus:

Cazaret-Saint-Santin-Cantalès, plomb, argent et or. Concédé en 1839. 2,398 hect.
Rouffiac, plomb, argent. Près de Montvert.
Crouzy, plomb, argent et sulfate de baryte.
Thinières, plomb, argent. Filon.
Sauverniole, près Madic, plomb, argent. Filon.
Champagnac, plomb, argent et sulfate de baryte.
Lanobre, — —
Ravin de Rolland, — —
Ravin de les Caves, — —

1. *Géologie et minéralogie du Cantal*. Tournaire. — *Statistique minéralogique du Cantal* Baudin.

Molèdes, filons de mispikel, arséniosulfure de nickel, argent, or. Pentes du Cézalier.
Fontvialle, — — — —
Bois-de-Vèze, — — — —
Bois-de-la-Tour, — — — —
Tour, — — — —
Peyrenègre, — — Commune de Malonpise.
Carmoute, — — — de Sainte-Illide.
Canines, — — — de Teissières-les-Boulies.
Peyrou, — — — de la Chapelle-en-Vézic.
Orgon, plomb, argent. Filon quartzeux dans le granite.
Aireins, plomb, argent. Couches analogues à celles de Saint-Santin.
La Combe-de-Montjon, plomb, argent. Exploité avant 1315 [1].
Bonnac, antimoine. Arrondissement de Saint-Flour.
Ouche, antimoine. Id., près Malliac. Concédé en 1826.
Luzer, antimoine. Id., près Saint-Mary-le-Plain. Concédé en 1861. 90 hectares.
Verteserre, antimoine. Id., près Chapelle-Laurent.
Chazelles, antimoine.
Crouzy, antimoine. Près Mauriac. Signalé par Monnet. Ce gîte est en relation avec des filons de plomb.
Lacroix-d'Astrié, antimoine. Concédé en 1861. 84 hectares.

Toutes ces mines ou tous ces gisements de plomb ou de mispikel étaient abandonnés avant la guerre, au commencement de 1870. La plupart des autres, et surtout les mines d'antimoine, ont été exploités avec plus ou moins d'activité dans le cours du siècle dernier.

Mines de plomb, argent et or. — On les trouve particulièrement dans l'ouest et le nord-ouest du département. Des renseignements nombreux ont été donnés sur elles par M. Baudin dans la statistique qui remonte à 1843; mais, comme depuis cette époque il n'y a rien été fait, ce qu'on y lit peut être dit encore aujourd'hui.

Le Cantal a été considéré par les historiens, Piganiol, Hellot, etc., comme étant doté d'abondantes mines de métaux précieux.

Cette opinion a été discutée par M. Baudin, et il n'a trouvé, dans les documents nombreux qu'il a parcourus, rien qui la justifiât d'une manière précise. Cependant de ses observations il résulte simplement qu'on ignore généralement l'existence de travaux anciens dans la plupart des lieux métallifères, et des descriptions qu'il donne on peut présumer que cette partie de la France possède des mines d'un haut intérêt, ainsi que nous allons le voir.

1. Cette indication est donnée dans les comptes rendus des ingénieurs (1846); mais les recherches de M. Baudin ont montré qu'il y avait eu confusion de nom et qu'il s'agissait de *Monjoux* ou *Montjaux* du Tarn, dans l'Aveyron, où se trouvent, près de Milhau, les mines du *Minier*.

Mine de Crouzy, commune de Chalvignac, près de Mauriac.

Découverte en 1760, exploitée vers cette époque et abandonnée notamment par suite de la cherté du combustible.

Mine de Thinières, *Sauverniole*, environs de *Madic*.

De considérables déblais témoignent de travaux anciens importants à Thinières. L'annuaire du Cantal dit : « Arrondissement de Mauriac... On exploitait autrefois une mine de plomb contenant beaucoup d'argent, dans la commune de *Baulieu*, près des ruines du château de *Thinières*; mais l'on ne trouve plus que quelques traces de cette exploitation. »

Ces travaux ont été ouverts sur un puissant filon N. N. E., S. S. O., donnant 300 grammes d'argent aux 100 kilog. de minerai, et courant dans les schistes cristallins.

Ce gîte, dit M. Baudin, et celui de Crouzy, comme ceux qui peuvent se présenter dans les environs, se rattachent à un groupe de filons qui, courant invariablement N. N. E., S. S. O., longent sur plus de 120 kilomètres, de Mauriac à Montaigut, les longs terrains houillers alignés suivant cette direction.

A ce groupe appartiennent les filons de plomb de *Crouzy* et de baryte de *Champagnac* (Cantal), les filons de plomb de *Ribeyrol* et de fer de *Deveix* (Corrèze), les filons de *Thinières* et *Sauverniole* (Cantal), les filons de plomb et argent de *Strature* (Corrèze), et enfin les filons de plomb de *Joursat*, de fer, plomb et argent de *Tortebesse*, et ceux de plomb et argent de *Youx* et *Marboutin* (Puy-de-Dôme).

Ajoutons encore auprès de *Mauriac* cette indication de Monnet :

« A l'ouest, sud, sud-ouest, on trouve dans le granite des tranchées « très-profondes dans lesquelles on voit des mines qui ont donné de « petites parties de minerai de plomb. C'est principalement dans celle « nommée la vallée de Corbeil, que se trouvent ces mines. » Ces tranchées sont évidemment des anciens travaux.

Gîte du bois d'Orgon. — Filons quartzeux, peu puissants dans le granite.

Gîte du ravin de Rolland. — Filon dans le gneiss. Les essais ont donné 130 grammes d'argent aux 100 kilog. de minerai.

Gîte du ravin de les Caves. — Minerai à 20 grammes d'argent aux 100 kilog.

Gîte de Rouffiac. — Filon dans le granite. Galène à grandes facettes tenant 20 grammes aux 100 kilog. Plomb phosphaté dans le quartz.

Gîte de Cazaret (Saint-Santein-Cantalès). Ce gîte important fut découvert en 1835. Des affleurements de mines du même genre se montrent aux environs, soit dans la concession de ce nom, soit au dehors, au moulin de *Cazaret* et à *Féniès*, avec une direction N. S., dans la com-

mune d'*Aireins*, à *Pruns* et *Parieu*, avec la direction E. O., qui tous suivent l'allure des terrains de la contrée.

Les travaux de la concession de *Saint-Santein*, commencés en 1836, ont été fermés en 1839 après qu'on y eut ouvert un ensemble de travaux représentant un cube d'un millier de mètres environ.

Depuis cette époque, jusqu'à aujourd'hui 1873, il n'y a réellement rien été fait, et dans ce moment (1873) cette mine est dans l'abandon le plus complet.

Gisement de Cazaret. — Couche verticale insérée dans le gneiss, composée de schiste noirâtre métallifère.

Il offre les mêmes caractères dans les points que nous avons indiqués plus haut; l'ensemble de ces points indique la présence de plusieurs bancs métallifères du même genre. Entre tous, c'est le gîte de Cazaret qui a paru le plus important.

Autant qu'on en peut juger d'après la description de M. Baudin, il y a là une concentration lenticulaire, et tout porte à croire qu'il doit en exister d'autres au moins aussi riches dans les environs. Les travaux qui y ont été faits ayant constaté « une puissance et une richesse moyennes de nature certainement à couvrir et au delà les frais d'une intelligente exploitation[1], » il y a tout lieu de penser que ces montagnes possèderont des richesses exploitables quand les voies de communication y seront convenablement améliorées.

Direction. — N. N. E., S. S. O.

Puissance. — Puissance variable, de 1 à 2 mètres au minimum, atteignant jusqu'à sept mètres.

Minerai. — La mine de Cazaret, qui semble exceptionnelle par l'absence des salbandes et celle de minéraux cristallisés, tels que le quartz et la baryte, l'est aussi par son minerai qui présente une teneur élevée en argent.

Les essais ont donné :

Pour le minerai brut. .	240	gr. d'argent aux 100 kilos de minerai.
Schlick lavé à l'augette.	1,160	—

Minerai compact, présentant à peine des indices de métaux, a donné 60 grammes d'argent aux 100 kilos de minerais.

Schlick.	684	grammes.
—	245	—

Des échantillons de galène à peu près pure, pris à diverses hauteurs du gisement, ont donné à M. Becquerel 396, 416, 696, 308, 380 et une teneur moyenne de 439 grammes d'argent aux 100 kilos.

1. *Statistique minéralogique du Cantal.* Baudin.

22

La galène disséminée a donné de moindres résultats, mais on peut évaluer sa teneur aux 100 kilos à 60 de plomb,

— 300 grammes d'argent.

L'argent de Cazaret est encore fréquemment accompagné d'un peu d'or, mais la quantité qu'il renferme paraît avoir été trop minime pour supporter les frais de départ; malgré cela nous reproduisons les détails que nous trouvons dans le travail de M. Baudin, parce qu'ils nous paraissent dignes d'un grand intérêt. Nous y voyons que des essais ont été faits par M. Becquerel qui a obtenu les résultats suivants.

La proportion d'or contenue dans l'argent lui a donné dans quelques cas 0,00125 et elle ne s'est pas reproduite dans d'autres, de sorte qu'il y a sans doute, jusqu'à nouvel ordre, à tenir peu de compte de cet accroissement de richesse. Cependant il est remarquable de voir que 200 kilogrammes de minerai, de la teneur de 45 à 50 pour 100 de galène, traités par le procédé électro-chimique, ont laissé un résidu tenant 15 grammes d'or aux 100 kilos.

Il est encore curieux d'observer que l'or se trouve dans ces couches métallifères associé aux minéraux qui l'accompagnent ordinairement dans les sables aurifères, comme le fer magnétique, fer arsénical, fragments de pyrites, grenats, zircon, spinelle, quartz hyalin, corindons, émeraudes, etc., généralement à l'état microscôpique.

Or. — Ces faits semblent donc constater la présence de l'or dans le département du Cantal et, quoique d'une manière éloignée, justifier en quelque sorte l'idée que suggère le nom d'*Aurillac*, qui rappelle le souvenir d'anciennes exploitations de ce métal, probablement par le lavage des sables des torrents. M. Baudin a révoqué cette opinion en doute et, comme d'Expilly, il y a contesté l'existence de l'orpaillerie[1].

Cependant les recherches de M. Rames ont montré que cette industrie avait été pour Aurillac une branche de commerce assez lucrative jusqu'en 1740.

L'or s'extrayait des sables de la Jordane qui coule sur les terrains volcaniques. Dans les premiers temps on se servait de peaux de mouton qu'on attachait dans les remous de la rivière, et au quatorzième siècle on remplaça ces peaux par du drap grossier cloué sur des planches inclinées. Le trafic de l'or se faisait à Aurillac dans une rue qui porte encore le nom de rue d'*Aureingues*. Cette industrie a cessé, non par l'absence des paillettes, mais seulement par l'augmentation de la main-d'œuvre.

Enfin, les pyrites des trachytes du Cantal, d'après M. Rames, renferment égalemeut de l'or.

Gisements de mispikel. — Ils se rencontrent principalement sur les pentes

1. *Statistique*, pages 162-163.

abruptes et profondément accidentées de la chaîne de Cézalier. Ils consistent en un grand nombre de filons courant dans la direction N, S., au milieu des gneiss et des micaschistes.

Les filons les plus puissants et les plus réguliers se trouvent dans les communes de *Molèdes* et de *Vèze;* ils ne sont connus que par leurs crêtes, mais on y peut recueillir des échantillons dignes d'un sérieux intérêt.

Les principaux points sont près de *Modèles*, aux abords du village de *Fontvialle*, près des villages de *Génesclade* et de *Conches;* enfin, dans la commune de Vèze, un filon sur le chemin de *Mondet* à *Génesclade,* et deux autres dans le bois de *Vèze* et dans le bois de la *Tour*.

Le minerai d'arsénic de ces filons est l'arsénio-sulfure de fer renfermant :

Arsenic.	43
Soufre.	21
Fer.	36

Il est associé à des pyrites de fer et accidentellement à des arséniures ou arsénio-sulfures de Nickel. Enfin il renferme généralement un peu d'argent et un peu d'or.

Indépendamment de la production principale, l'acide arsénieux, dit M. Baudin, et accessoirement les sulfures et l'arsénic métallique, les résidus du traitement pour arsénic pourraient peut-être être traités avec avantage, soit pour argent et or, soit pour nickel. Il ne serait pas non plus impossible que l'on arrivât à tirer parti du soufre, par une fabrication d'acide sulfurique, ainsi que cela se pratique aujourd'hui sur les pyrites du Rhône, etc.

Au dehors du Cézalier on trouve encore le mispikel, à *Peyreneire*, commune de *Malompise;* à *Carmonte*, commune de *Saint-Illide;* à *Canines*, commune de *Teissières-les-Boulies* et au *Peyrou*, commune de la Chapelle-en-Vézac, etc.

Mines d'antimoine. — Presque toutes ces mines sont situées aux environs de *Massiac*, à l'exception d'une seule que Monnet a signalée auprès de *Mauriac*. Les filons d'antimoine appartiennent à une grande zone qui s'étend dans le Puy-de-Dôme et la Haute-Loire. Ils renferment souvent le sulfure d'antimoine massif sur des épaisseurs de 0,10, 0,20 et 0,30.

Leur direction variable oscille autour d'un ligne générale N. O., S. E. La plupart de ces mines, à *Ouche*, *Bonnac*, *Luzer*, *Verteserre*, *Chazelles*, etc., ont été travaillées à plusieurs reprises dans le cours du siècle dernier. A cette époque celles d'Ouche et de Luzer ont joué un rôle d'une certaine importance.

En 1870, aucun de ces gisements n'était en exploitation.

En résumé, nous voyons que l'étude du Cantal présente un grand in-

térêt; les gisements qu'il renferme, peu connus jusqu'à présent, offrent de remarquables particularités, une grande teneur en argent, et des métaux tels que le nickel et l'or dans des conditions dignes d'être étudiées.

L'absence des voies de communication a sans doute singulièrement nui au développement de toutes ces mines et à leur recherche. Lorsqu'elles seront plus multipliées qu'elles ne le sont encore aujourd'hui (1873), il est probable que l'on verra s'opérer dans ces contrées une grande transformation et y naître une nouvelle vie industrielle.

VELAY. — Département de la Haute-Loire.

L'un des plus accidentés de ceux qui composent le plateau central, ce département offre des points qui atteignent l'altitude de 1,555 et 1,200 mètres au-dessus du niveau de la mer, et de ces hautes cimes descendent une multitude de ruisseaux dont les eaux roulent au fond de vallées aux flancs généralement escarpés et abruptes.

Il possède un grand nombre de filons métallifères, sillonnant les schistes, les gneiss et les granites qui constituent la presque totalité du département[1]; mais jusqu'à présent, en 1873, les filons d'antimoine ont été les seuls qui aient donné lieu à des exploitations suivies.

Beaucoup de ces filons, et particulièrement ceux des environs de Brioude et de Langeac, dans la vallée de l'Allier, ont été décrits par M. l'ingénieur Dorlhac[2]; mais ces filons ont été principalement étudiés au point de vue de la baryte qu'ils renferment et qui formait alors l'objet d'exploitations et de recherches assez étendues près de la surface du sol.

Cependant, du travail de M. Dorlhac comme des faits qui se sont passés depuis qu'il a été écrit, on peut déduire, ce qui d'ailleurs avait déjà été observé dans d'autres pays, que la baryte des filons de la Haute-Loire tend, en s'approfondissant, à s'associer de plus en plus au quartz et à se charger de substances métalliques qui deviennent de plus en plus abondantes.

Aussi les travaux multipliés sur ces gisements pour l'exploitation de la baryte n'ont attaqué que les crêtes des filons et n'ont pas pu, généralement, être poursuivis au-dessous de 12 à 15 mètres de profondeur, malgré la facilité d'ouvrir des galeries d'écoulement, non pas à cause de l'élévation des prix de revient, mais, le plus souvent, parce que la baryte cessait d'être commerçable.

1. *Note sur la constitution géologique du departement de la Haute-Loire*, par M. Tournaire. — *Bulletin de la Société géologique de France*, 1869.
2. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, t. VIII, 1859.

On reconnaît encore, à côté de ces filons barytiques, un grand nombre de filons quartzeux et quartzo-barytiques dont la puissance atteint et dépasse 4 ou 5 mètres, courant tous généralement dans une direction rapprochée de NO.-SE. et présentant des substances métallifères plus ou moins disséminées, telles que de la galène, du cuivre gris, des pyrites de cuivre, pyrites arsénicales, des plombs phosphatés, etc., accompagnés quelquefois de chaux carbonatée et de spath fluor. Cette dernière substance forme aussi des filons puissants d'où on l'extrait, principalement pour le service des verreries.

On y connaît peu de travaux anciens, et aucun de ces filons ne paraît avoir été exploré à une profondeur un peu importante.

Aussi, lorsque les regards cherchent à pénétrer dans l'intérieur de ces montagnes et au travers de ce réseau de substances quartzeuses, barytiques ou argileuses, qui, seulement aux environs de Brioude, de Pinols à Jumeaux, occupe une superficie de plusieurs centaines de kilomètres carrés; lorsqu'on voit cet entrelacement de filons à inclinaisons diverses et leurs tendances à se métalliser de plus en plus en s'approfondissant, on croit comprendre qu'une certaine transformation doit s'opérer de la surface vers la profondeur; on croit voir l'enrichissement métallique d'un certain nombre de ces filons, et cet enrichissement apparaît encore plus vraisemblable quand on sait que déjà des minerais de plomb ont présenté une haute teneur en argent dans quelques endroits, et quand on voit le sol de la contrée traversé par des roches éruptives diverses et volcaniques dont l'action prolongée a dû opérer des modifications profondes au sein des substances que renferment ces divers gisements.

Enfin, si, jusqu'à ce jour, on n'a obtenu dans la Haute-Loire que des résultats à peu près insignifiants relativement aux mines de plomb argentifère et de cuivre que ce département renferme, il sera permis de croire que ces résultats auraient peut-être été différents, si les travaux avaient cessé de se maintenir à peu de distance au-dessous des affleurements.

Telle était aussi l'opinion de M. l'ingénieur Tournaire, qui disait avec raison : « Les filons riches ne sont pas en grand nombre; il est néanmoins très-probable que plusieurs exploitations abandonnées auraient réussi, ou se seraient continuées, si elles avaient été dirigées avec plus d'expérience et dans un esprit de stricte économie[1]. »

Les chemins de fer qui aujourd'hui traversent le département, en suivant la vallée de l'Allier ou en se dirigeant vers Saint-Étienne, et rapprochent tout à la fois les distances et le combustible, pourront peut-être encore modifier à l'avenir cet état de stagnation qu'on remarquait dans ces dernières années, stimuler les recherches qui paraissent n'avoir été particulièrement dirigées que vers les mines d'antimoine.

1. *Bulletin de la Société géologique*, 1869.

Principaux gisements connus dans la Haute-Loire :

Lavoulte-Chiliac, plomb et argent. Recherches.
Saint-Privat-du-Dragon, plomb et argent. Canton de Lavoulte-Chiliac. Recherches.
Salzuit, plomb et argent. Canton de Paulhaguet. Recherches.
Aurouze, plomb et argent. Canton de Paulhaguet. Concédé en 1870. 2,660 hectares. Les travaux étaient arrêtés en 1872.
Environs de *Brioude*, de *Paulhaguet*, de *Lavoulte-Chiliac*, de *Langeac*. Nombreux filons de baryte, de quartz, de spath fluor.
Chazelles, plomb, argent. Canton de Langeac. Concédé en 1848. 669 hectares.
Monistrol-d'Allier, plomb, argent. Canton de Langeac. Concédé en 1851. 908 hectares.
Chambonnet, alquifoux. Canton d'Issengeaux. Concédé en 1827. 530 hectares.
Azerat et *Agnat*, cuivre. Canton de Brioude. Concédé en 1831. 650 hectares.
Barlet, cuivre. Canton de Langeac. Recherches à la surface.
Espeluches, mispikel. Canton d'Auzon. Concédé en 1843. 499 hectares.
Freycinet, antimoine. Canton de Lavoulte-Chiliac.
La Licoulne, antimoine. Canton de Lavoulte-Chiliac. Concédé en 1817. 1,540 hect.
Lavoulte-Chiliac, antimoine.
Fromenty, antimoine. Canton de Langeac.
Barlet, antimoine. Canton de Langeac.
Chazelles, antimoine. Canton de Langeac. Concédé en 1849. 414 hectares.
D'Ally, antimoine. Canton de Lavoulte-Chiliac. Concédé en 1855. 232 hectares.
Moulergues, antimoine. Canton de Pinols. Concédé en 1866. 93 hectares.
De La Faye, antimoine. Haute-Loire et Cantal. Concédé en 1861. 300 hectares.
Entre *Allègre* et *Saint-Paulieu*, chaux fluatée. Filon dirigé N. S. (Tournaire).

Concession d'Aurouze. — Les travaux de recherche que nous croyons être les plus importants qu'on ait faits dans ces dernières années, au point de vue de la galène argentifère, ont été exécutés à Aurouze, près de Paulhaguet.

D'après le rapport de M. l'ingénieur Tourgon et d'après ce que nous avons vu nous-même en 1872, cette concession est traversée par un grand nombre de filons. On en compte au moins trente, auprès d'Aurouze, qui se croisent, dans des directions diverses, dans un espace de 50 hectares, et la concession s'étend sur plus de 2,000. D'autres se trouvent encore dans la vallée de la Fioure, et il paraît certain qu'il en existe encore beaucoup dont on ne voit pas les affleurements.

Ces filons sont encaissés dans le gneiss, ou dans un granite schisteux; ils sont généralement barytiques aux affleurements et deviennent quartzeux et métallifères à peu de profondeur au-dessous de la surface. On y trouve, avec le quartz, la baryte et le spath fluor, les minerais de plomb argentifère, de cuivre et de manganèse.

La direction de ces filons est variable, depuis N.-S. jusqu'à N. 50° O.; mais, d'après les observations de M. l'ingénieur Dorlhac, les filons baritiques N. 50 O. coupent toujours les filons quartzeux des autres direc-

tions, tandis que les filons quartzeux se rencontrent souvent sans se couper. Les filons barytiques de la direction que nous venons d'indiquer sont donc plus récents que les filons quartzeux, et cette observation est d'un grand intérêt au point de vue des travaux de recherche et de production dans ces contrées, aussi bien pour Aurouze que pour toutes les montagnes des environs.

Il y a, en effet, une question fort utile à résoudre. Cette question est celle qui se rapporte aux divers degrés de richesse de ces filons d'âge différent. Déjà on a pu reconnaître ailleurs que la nature du quartz indiquait des aptitudes plus ou moins grandes à devenir métallifères; cette loi, si importante à connaître, n'a pas, ce me semble, été profondément étudiée dans la Haute-Loire, et il convient de savoir encore si les filons barytiques N. 30 à 50 O. seront plus ou moins métallifères que les filons quartzeux. Je n'ai pas une connaissance des lieux assez complète pour développer un sujet si difficile et si délicat à traiter, mais on comprend tout ce qu'une pareille étude offre d'intérêt à tous les points de vue.

Nous ne nous étendrons pas sur les nombreux filons qu'on rencontre à Aurouze et dans les environs; nous nous bornerons à rappeler qu'ils sont généralement zonés et formés souvent d'une succession de bandes de quartz, de baryte et de spath fluor.

Leur puissance varie de 0,60 à 4 mètres, mais il en est parmi eux qui atteignent une largeur beaucoup plus considérable, tel que le filon de Fiovette.

Filon de Fiovette. — Situé au nord-est d'Aurouze, près du moulin de Praslon, dans les escarpements de la vallée étroite de la Floure dont les eaux s'écoulent dans la Senoure. Ce filon, connu par ses affleurements, peut être poursuivi sur une distance de plus de 1,400 mètres.

Direction : N. 30 à 48° O.

Puissance : 12, 14, 16 et 18 mètres.

Inclinaison : vers le nord-est. Il est presque vertical.

Gangues. — Elles se composent de sulfate de baryte et quartzo-barytiques, alternant avec des bandes de chaux fluatée, formant des zones de 0,70 à 1,10 d'épaisseur, et de schistes ou de roches feldspathiques, qui complètent le remplissage des filons.

Minerai. — La galène argentifère est le minerai dominant, mais on y trouve encore des pyrites et carbonates de cuivre, des pyrites de fer et des oxydes de fer et de manganèse.

La galène se trouve dans des bandes quartzo-barytiques, et en plus grande abondance dans celles de même nature plus rapprochées des épontes.

Dans ce filon, le minerai a donné une haute teneur en argent.

Dans les autres filons d'Aurouze, la galène a été trouvée aussi d'une grande richesse en argent dont témoignent les résultats suivants :

Galerie de la Salzède supérieure, plomb.	50,90 °/°	325	gr. argent aux 100k plomb.
Galerie de Bourgoing.	54,20	570	—
Quartz noir minéralisé.	18,62	390	—
Puits Bergoin.	47,75	645	—
Minerai lavé. Puits Faraire.	42,75	316	—

Les analyses faites au Bureau des mines de Clermont ont donné des résultats d'où l'on peut déduire le chiffre de 5 kilos comme teneur moyenne en argent des 1,000 kilos de plomb d'œuvre d'Aurouze.

Une telle richesse est bien apte à appeler l'attention sur les filons de cette contrée, et elle doit exciter surtout à faire rechercher comment elle est répartie au milieu de ces nombreux filons qui présentent des quartz de diverses natures, du spath fluor, de la baryte et des argiles; quels sont enfin ses rapports avec la roche encaissante, schistes et micaschistes, et avec son voisinage des roches éruptives d'une autre nature.

Jusque dans ces dernières années on ignorait l'existence des travaux d'une autre époque; mais, lorsque les recherches ont été commencées à Aurouze, on a reconnu que les anciens y avaient travaillé. De là est venu le nom des *Anciens* donné à l'un des filons de cette contrée. Ces travaux ne semblent pas avoir eu un grand développement.

Il paraît, d'après la tradition locale, que, dans le dix-huitième siècle, les Blumenstein, qui cherchaient à étendre au delà de toute limite les bornes de leurs concessions, y ont fait quelques travaux; mais on est en droit de supposer que, fort occupés déjà de leurs entreprises de Saint-Julien, de Saint-Martin, etc., ils ne purent poursuivre ces travaux, comme cela, d'après Jars, leur arriva à Monistrol pour la même cause.

Les travaux récemment exécutés à Aurouze ne sont parvenus eux-mêmes qu'à peu de profondeur (1872), et, malgré la puissance des filons, ils n'étaient pas encore arrivés à reconnaître des veines de galène un peu épaisses ou des disséminations de minerai un peu abondantes.

Monistrol d'Allier. — Filons étendus dans le granite, près du chemin de fer. Des travaux y ont été faits depuis des temps très-éloignés. On y travaillait en 1872 et on en tirait de l'alquifoux.

Mines de Chazelle. — Il y a longtemps aussi que ces mines sont connues. Mais, concédées en 1848, on n'y avait fait que bien peu de travaux jusque dans ces derniers temps. Nous nous rappelons avoir eu occasion de les visiter en 1856, et à cette époque, comme dans les années précédentes, ces travaux ne consistaient qu'en puits peu profonds, ou travaux presque

à ciel ouvert. Les filons se trouvent dans le granite et dans les gneiss. Nous ne connaissons pas leur teneur en argent.

L'accès des endroits où se trouvent ces mines paraît difficile et exige vraisemblablement une richesse en minerai qu'on ne voit pas au premier abord; mais, là comme dans beaucoup d'autres endroits, il est à craindre que les études méthodiques aient fait défaut jusqu'à présent.

Langeac. — Près de ce pays et aux environs des mines de houille de Marsanges, on rencontre encore un certain nombre d'indices métallifères. On voit notamment à *Barlet* un filon de cuivre et de spath fluor remarquable par son ampleur. Ce filon se trouve dans les schistes qui constituent les versants du ruisseau de Marsanges.

Direction : N. 20 E.

Puissance : 2,50 à 3 mètres.

Inclinaison : verticale.

Minerai : pyrite de cuivre. En 1872, on le voyait en une bande massive de 0,25 à 0,30 d'épaisseur, au centre même du filon et entre deux bandes de chaux fluatée de 1 mètre à 1^m,50 d'épaisseur chacune.

Ce filon a été longtemps caché, comme beaucoup d'autres le sont encore aujourd'hui sans doute, sous la terre végétale, et nous nous rappelons l'époque où nous pouvions parcourir ces contrées et passer au-dessus de lui sans en soupçonner l'existence.

Les travaux dont il a été l'objet ne consistaient, en ces derniers temps, qu'en tranchées à ciel ouvert. Nous ignorons si aujourd'hui (1873) il est l'objet de travaux sérieux et plus étendus.

Je n'ai vu que ce filon de cuivre, mais on m'a assuré qu'il en existait trois parallèles et très-rapprochés les uns des autres.

Si l'on jette un coup d'œil sur cette contrée, on voit, dans un espace très-limité, les filons de cuivre dont je viens de parler qui se développent sur une assez grande étendue en gravissant la montagne, et, à peu de distance, un filon de galène ayant la direction N. S., une gangue quartzeuse et de spath fluor, renfermant de la galène à grains d'acier et du phalerz; un peu plus loin, un gisement d'antimoine d'où l'on a extrait du minerai, et courant à peu près dans la direction E.-O.

En s'en tenant à ces faits, on voit qu'on a, à deux pas de la houille de Marsanges, dans un fort petit espace, un réseau de filons qui donne à cette localité un intérêt tout particulier, mais il faut cependant reconnaître que, dans l'état actuel, les apparences extérieures ne semblent pas promettre une grande abondance de minerai. Ces apparences peu favorables, particulièrement manifestées par l'absence de gangues argileuses, par l'aspect même des schistes encaissants, dépendent probablement,

ainsi que nous aurons occasion de le voir ailleurs, du niveau géologique dans lequel on les observe.

Mines d'antimoine. — Elles consistent généralement en filons dans des schistes appartenant, probablement, à la partie la plus supérieure des terrains azoïques. Ils sont très-nombreux dans ces contrées. Leur puissance dépasse rarement 1 mètre. Les minerais qu'on en extrait sont portés aux fonderies de Langeac où l'on produit le régule.

En résumé, nous n'avons donné que bien peu de détails sur le département de la Haute-Loire, mais nous pensons en avoir dit assez pour montrer qu'il y a là encore une contrée qui paraît peu connue et où l'on peut constater les apparences d'une certaine richesse. Jusqu'ici les sommes employées en recherches n'ont fait qu'effleurer la surface du sol, et si, par un heureux hasard, elles avaient pu être concentrées en un seul point convenablement choisi, elles auraient permis peut-être de mieux apprécier ce que peuvent renfermer les entrailles de ces montagnes, et une telle manière de faire aurait probablement modifié l'opinion défavorable que peuvent inspirer ces recherches superficielles presque aussitôt abandonnées que commencées.

Gévaudan et Cévennes.

Département de la Lozère.

Ce département est l'une des parties de la France les plus remarquables par le nombre des gisements métallifères qu'il possède, et il l'est particulièrement pour nous au point de vue qui nous préoccupe, parce qu'il est le siége de l'une des rares exploitations métalliques de notre pays, celle de Vialas, qui, depuis près d'un siècle, luttant sans crainte et sans relâche contre une foule de difficultés, aient montré cette persévérance continue qui a failli dans un si grand nombre d'endroits.

La *Lozère* ou le *Gévaudan* était, au temps des Gaulois, la patrie des *gabales* célèbres déjà par l'industrie des mines. Elle appartenait au royaume des Arvernes dont fut roi Vercingétorix. Vaincu par les Romains, le Gévaudan fit partie de la Gaule aquitanique et dans le cinquième siècle il passa sous la domination des Visigoths, puis sous celle des Francs, pendant que les Sarrasins avaient leur métropole à Narbonne. Après le démembrement de l'empire de Charlemagne, ce pays fut soumis aux évêques devenus comtes du Gévaudan qui conservèrent l'entière puissance jusqu'en 1306, et depuis le treizième siècle jusqu'au moment de la Révolution de 1789 il fut compris dans l'ancienne province du Languedoc.

Pendant le quatorzième et le quinzième siècle, le Gévaudan eut particulièrement à souffrir des maux que les Anglais causèrent à la France, et ce n'est qu'en 1451, sous Charles VII, que ce pays vit renaître un peu de calme. Ce calme dura peu par suite des guerres de religion qui, pendant le seizième et le dix-septième siècle, y portèrent le trouble le plus grand.

Ce rapide historique montre que l'industrie des mines a dû y être souvent troublée; mais néanmoins, quand on parcourt les montagnes qui en constituent l'ensemble, on rencontre sur leurs sommets, ou dans les ravins, des amas de déblais, des tas de scories, et des ruines qui attestent l'existence d'exploitations prolongées dans des temps reculés. Ces exploitations durent être très-actives aux temps romains et pendant le douzième et le treizième siècle, comme elles l'étaient presque partout ailleurs en Europe. Les historiens signalent les exploitations du quatorzième siècle dans le Gévaudan, alors que l'argent avait une valeur qu'on ne lui avait pas connue jusqu'alors et, au milieu du quinzième siècle, quelques-unes de toutes ces mines étaient encore travaillées à *Saint-Sixte*, à *Vallongue*, à *Lacombe*, près de *Cocurès*, dans la juridiction d'*Ispagnac*, et en beaucoup d'autres points.

Depuis ce temps, des mineurs du pays ou étrangers tiraient de l'alquifoux et grapillaient dans les mines abandonnées et encore ouvertes, et peu d'années avant 1789 des entreprises minières furent concédées par l'administration.

A cette époque on vit dans la Lozère trois établissements principaux : l'un à *Villefort* pour l'exploitation de la galène argentifère et de la pyrite cuivreuse; le second à *Bluech;* le troisième à *Saint-Sauveur*, dans le Gard, mais sur les limites du département. Ces diverses entreprises commençaient à donner des résultats et à surmonter les obstacles qui se présentent généralement au début, quand les événements de 1792 éclatèrent et vinrent porter partout le désordre et le trouble.

Les établissements de Saint-Sauveur et de Bluech furent dévastés et leur matériel complétement perdu.

La Société de Villefort et Vialas seule n'interrompit pas ses travaux, mais elle eut à lutter contre des obstacles considérables.

Depuis la Révolution, à l'exception de Vialas, aucune entreprise durable n'a été fondée dans la Lozère, et l'on a pu voir les traces nombreuses d'anciennes mines, délaissées et abandonnées pendant cinquante ans de paix, alors que le commerce et l'industrie acquéraient un développement inconnu et que les métaux, tels que l'argent, le cuivre et le plomb, étaient plus recherchés que jamais, et plus que jamais nécessaires.

La Lozère, comme plusieurs départements du Languedoc, est fort riche en mines, et c'est ce qui faisait dire au mineur de Genssane[1] chargé par les États d'étudier le pays vers 1766 : « J'ose assurer que ces mines, « exploitées avec prudence, produiraient des sommes considérables en « cuivre, plomb et argent, et dans le cas où le gouvernement ne jugerait « pas à propos de s'en occuper par lui-même, la province pourrait, « sous le bon plaisir de Sa Majesté, se faire un très-gros revenu du pro- « duit de ces travaux. »

1. *Histoire naturelle du Languedoc.*

Depuis ce temps de nombreuses tentatives ont été faites et bientôt délaissées. Presque toutes ces mines sont restées à peu près inactives pendant tout le cours de ce siècle malgré les tentatives que nous venons de rappeler.

On serait porté à croire à l'insuffisance de la richesse des gisements, et à considérer cette insuffisance comme la cause principale des insuccès et des abandons; mais, pour peu que l'on veuille y réfléchir, pour peu que l'on pense à toutes ces anciennes exploitations dont on voit les vestiges nombreux, on reconnaît bientôt que beaucoup d'autres causes ont dû entraver le mouvement industriel minéralurgique de ces contrées dans le cours du siècle actuel.

Ce n'est pas, comme on l'a dit, l'élévation des prix de la main-d'œuvre ou l'abaissement du prix des métaux qui ont arrêté ce mouvement, et nous en avons pour preuve la continuité de l'exploitation de Vialas, mais dans les temps qui précédèrent la Révolution et plus encore dans les temps antérieurs, la Lozère était couverte de forêts, et chaque mine trouvait auprès d'elle les bois et le combustible nécessaires à son activité. Elle n'avait d'autres transports à effectuer que ceux des lingots de plomb ou d'argent. Après la Révolution, ces pays, comme tant d'autres, se ressentirent du décret de la Convention qui autorisait les communes à disposer des forêts et des bois et, peu d'années après, le sol fut presque entièrement dénudé comme on le voit aujourd'hui sur la plupart de ces montagnes.

Il fallait donc, ou transporter les minerais au loin, près du combustible, on bien transporter ce dernier près de la mine. On voit donc que les circonstances, pour les exploitations de la Lozère, s'étaient singulièrement modifiées dans le cours de peu d'années, et ces circonstances étaient devenues réellement désastreuses parce que les routes faisaient complétement défaut et le pays manquait de chemins.

C'est donc en grande partie, non pas à la stérilité des gîtes qu'il faut attribuer l'abandon ou l'insuccès des mines de la Lozère pendant les années qui viennent de s'écouler, mais principalement à l'absence des voies de communication. Si ce pays se fut trouvé en Allemagne il serait aujourd'hui en pleine exploitation; des faisceaux de filons y auraient été reconnus et l'activité régnerait sur une grande partie du département, parce que, dans cet Empire, l'industrie minérale étant l'une des préoccupations publiques, aussitôt qu'une mine est reconnue, quelle qu'elle soit, riche ou pauvre, on y fait une route pour la desservir.

Aujourd'hui la Lozère possède un chemin de fer le long de l'une de ses limites; elle doit être traversée par une voie ferrée centrale passant à Marvejols, et des chemins ordinaires sont en voie de construction en un grand nombre de points. Les conditions du pays sous ce rapport seront donc transformées, et beaucoup de mines qui devaient forcément

être abandonnées ou être travaillées lentement pourront probablement bientôt être mises avantageusement en activité.

Si l'on jette un coup d'œil d'ensemble sur la constitution géologique de la Lozère, on voit trois centres granitiques principaux qui dominent toute la contrée : 1° au nord du département, l'axe de la *Margeride* entre la Truyère et l'Allier, qui se poursuit dans le Cantal, et se relie aux monts d'Aubrac par les hauteurs de *Saint-Amans;* 2° le mont *Lozère* qui présente ses derniers contreforts dans le Gard, aux environs de Villefort et se dirige du côté de *Mende;* 3° l'*Aigoual*, au sud du département, qui s'étend depuis les limites de l'Aveyron jusque vers *Saint-Jean-du-Gard* et constitue les crêtes des montagnes de Saint-Guiral, de Saint-Brion, etc.

Ces trois principaux massifs, essentiellement formés, à leur centre, de granite porphyroïde, surgissent du sein des schistes anciens, gneiss, micaschistes, talcschistes et schistes argileux qui les entourent et disparaissent en un grand nombre de points, dans le département ou dans les départements voisins, au-dessous des formations secondaires, carbonifère, triasique, liasique et jurassique qui les recouvrent.

Ces schistes sont particulièrement découverts, entre l'Aigoual et la Lozère, sur une superficie de près de 1,000 kilomètres carrés, et ils apparaissent encore dans une foule de points, au nord de cette dernière montagne, sur les flancs de la Margeride, sur les bords de l'Allier et de la Truyère, dans la vallée du Lot, etc.

Ils sont souvent sillonnés par des filons de pegmatite, de fraidonite, analogue à la minette des Vosges, de porphyres quartzifères, et enfin par de puissants filons quartzeux qui les traversent sur des étendues considérables.

Les basaltes, si développés, à l'ouest et à l'est, dans l'Ardèche et le Cantal, ne se montrent que rarement dans le centre du département ; ils apparaissent aux environs de *Malezieu* et de *Saint-Léger-de-Peyre*, et forment une grande partie des montagnes d'*Aubrac*.

Les substances métalliques se présentent dans de nombreux filons, abondant surtout dans les formations schisteuses, et se poursuivant dans les granites comme dans les terrains secondaires triasiques et liasiques. On les a particulièrement recherchées et travaillées autour des versants granitiques de la Lozère et de l'Aigoual, et elles se présentent dans des filons de quartz, de sulfate de baryte et quartzo-barytiques, à l'état de pyrites plus ou moins cuprifères, de galène et d'antimoine.

Ces filons divers ont été étudiés avec grand soin par M. l'ingénieur Lan[1], et quoiqu'il y ait bientôt vingt ans que ces études aient été faites, elles peuvent encore aujourd'hui être consultées avec profit. D'après ces études, on voit que la Lozère est traversée par des zones métallifères importantes, qui se trouvent ainsi déterminées dans leur ensemble, mais

1. *Annales des Mines*, 1854-1855.

dont on ne connaît réellement encore qu'une partie. Les filons de galène sont, jusqu'à présent, les plus nombreux, et on remarque qu'ils sont plus argentifères dans les schistes que dans les granites, avec certaines variétés de chaux carbonatée et de baryte, et qu'ils cessent presque de l'être lorsqu'ils pénètrent dans certains terrains calcaires où la baryte se montre en plus grande abondance.

Les principales zones plombeuses que l'on connaisse aujourd'hui dans la Lozère, considérées géographiquement, d'après M. Lan ou d'après les renseignements qui nous ont été fournis par M. l'ingénieur Garnier et M. Fabre, membre de la Société géologique de France, suivent plusieurs lignes qui traversent le département à peu près de l'ouest à l'est.

1° Au nord du mont Lozère, de Villefort au Bleymard, Mende et les environs de Marvejols;

2° Au sud du mont Lozère, de Florac à Chamborigaud et Peyremale, dans le Gard, passant par Bedouès et Cocurès, Pont-de-Montvert et Vialas;

3° De Cassagnas au collet de Dèze et Portes, dans le Gard, passant aux mines de Bluech, Pradal et Castanet;

4° Une ligne au nord de l'Aigoual, près de Meyrueis.

Cependant, comme des gisements existent entre ces zones, il serait peut-être plus exact de les rapporter aux grands filons quartzeux, si nombreux dans ces localités, courant généralement dans une direction variant autour du N. O. S. E., que l'on trouve au milieu de tous ces terrains et auprès desquels ils s'entrelacent et se groupent.

La plus grande richesse en argent a été trouvée dans quelques filons des environs de Villefort et dans la plupart de ceux que l'on rencontre au sud du mont Lozère, comme Vialas, Bluech, Bedouès et Cocurès; elle varie, suivant le mode de remplissage des filons, de 50 à 100, 200, 450, 600 et même plus de 1,000 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb d'œuvre.

Les gisements placés au nord du mont Lozère, et surtout ceux qui se trouvent enclavés dans les granites ou les calcaires, sont souvent pauvres en argent; leur teneur varie de 15 à 250 grammes aux 100 kilos de plomb, et un grand nombre d'entre eux n'ont été exploités que comme alquifoux.

Les gisements d'antimoine se trouvent principalement groupés dans la région S. E. du département, aux environs de *Saint-Germain-de-Calberte*, de *Cassagnas*, de *Saint-Martin-de-Boubaux*, et ils paraissent former plusieurs faisceaux qui s'étendent dans le département du Gard jusqu'à *Malbosc*. Ils se trouvent généralement sous forme de filons-couche, au sein de schistes qui appartiennent sans doute à la partie supérieure des terrains azoïques. On trouve au milieu d'eux quelques gisements de galène qui paraissent leur être tout à fait contemporains et forment une sorte de liaison entre les filons plombeux et les filons d'antimoine.

Enfin, les filons de cuivre que l'on connaît dans la Lozère sont peu nombreux. On en a exploité un auprès de Villefort; les autres se trouvent sur les versants de l'Aigoual, paraissant appartenir à une bande qui se poursuit dans les montagnes de *Saint-Jean-du-Gard*, et la pyrite de cuivre accompagne fréquemment les minerais de plomb sur les pentes nord du mont Lozère.

Nous allons indiquer les principaux gisements connus; mais nous devons nous hâter de faire remarquer qu'il faudrait tout un livre pour en donner une description détaillée, description que le cadre de ce travail ne nous permet pas de reproduire.

Principaux gisements et mines connus dans le département.

Villefort et *Vialas*, plomb et argent. Concession de 1808 sur 9,700 hectares, augmentée en 1872 et portée à 11,500 hectares. Activement travaillé.
Bahours, plomb et argent. Concession de 1861 sur 870 hectares.
Bluech et *Pradal*, plomb et argent. Concession de 1841 sur 1013 hectares.
Ispagnac, plomb et argent. Concession de 1862 sur 2375 hectares.
Bedouès et *Cocurès*, plomb et argent. Concession de 1849 sur 3,987 hectares.
Saint-Michel-de-Dèze, plomb et argent. Concession de 1822 sur 136 hectares.
Richaldon (Collet de Dèze), plomb et argent. Concession de 1860 sur 636 hectares.
Meyrueis et *Gatuzières*, plomb et argent. Concession de 1864 sur 10,575 hectares.
Saint-Léger-de-Peyre, plomb et argent, environs de Marvejols. En recherches.
Montrodat, — —
Antrenas, — —
Chirac, — —
Marvejols, — —
Les Bondons, alquifoux.
Bleymard, —
Allenc, —
Bagnols-les-Bains, —
Oultet, —
Orcières, —
Vareilles, —
Cubières, —
Bergongnhoux, —
Grosviala, alquifoux. Vallée du Chassézac.
Belvezet, —
Aufage, —
Forêt-de-Mercoire. — *Vallée de l'Allier*.
Saint-Michel-de-Dèze, antimoine. Concession de 1822. Vallée du Gardon.
Collet-de-Dèze, antimoine. Concession de 1822.
Cassagnas, antimoine. Concession de 1832 sur 624 hectares.
Terraillon, — — 1832.
Vieljouve, — — 1860.
La Coupette, — — 1845.
Rouve et *Solpeyran*, antimoine. Concession de 1814 sur 1,226 hectares.

Les minerais de cuivre ont été reconnus :

Dans les gîtes de *Campis*, aux environs de Meyrucis.
— *Campredon*, —
— *Beyrac*, commune d'Allenc.
— *Saint-Étienne*, vallée française.
— *Séjas*, commune de Montrodat.
— Vallée de *Coulagnet*, commune de Marvejols.

Des gisements nombreux, dont nous n'avons pas cité les noms, se retrouvent aux environs ou autour des localités que nous venons d'indiquer. Ils sont, en général, marqués à la surface du sol par leurs affleurements ou par les déblais plus ou moins considérables des anciens travaux dont ils ont été l'objet.

Mines de Villefort et Vialas. — Ces mines se composent aujourd'hui de deux principaux districts, situés l'un à Villefort, entre les vallées de l'Altier et du Chassézac, et l'autre à Vialas, dans les hautes montagnes qui forment la rive droite du Luech. Elles sont d'une grande importance à cause des travaux nombreux dont elles ont été l'objet, d'une manière à peu près continue, depuis plus d'un siècle, et la Société qui les possède, propriétaire encore de plusieurs autres concessions dans le Gard, s'est toujours fait remarquer par sa persévérance, par sa volonté de créer et de conserver des traditions, par les nombreuses recherches qu'elle a faites, à grands frais, dans ces montagnes, et beaucoup aussi par la libéralité avec laquelle elle a mis à la disposition du public tous les résultats de ses études.

Aussi les documents relatifs aux mines de Vialas ne manquent pas, depuis Dolomieu[1] jusqu'à ces dernières années. Les études les plus complètes ont été données dans les *Annales des mines*, en 1855, par M. l'ingénieur Lan, et en 1863 par M. Rivot à qui était confiée la direction des travaux.

On trouvera principalement dans ces deux ouvrages une foule de détails intéressants; nous n'y puiserons que ce qui est nécessaire pour ne pas sortir du cadre restreint que nous nous sommes imposé.

Historique. — Les mines de Vialas ont été travaillées dans des temps très-reculés que l'on peut rapporter aux Romains tout aussi bien qu'au moyen âge. Ces travaux étaient ouverts sur les crêtes des filons, et, comme à Pontgibaud, partout où ils ont été poursuivis à quelque profondeur, on a rencontré au-dessous d'eux le prolongement de la richesse minérale.

1768-1774. Après un long abandon, deux ou trois propriétaires en-

1. *Journal des Mines*, an VI.

treprenaient l'exploitation des mines de Villefort. Ils construisirent une fonderie à Roquemaure, sur les bords du Rhône; le minerai était ainsi transporté, pour y être fondu, à 70 kilomètres des mines. Les premières dépenses furent donc excessives et irréfléchies, et bientôt tout fut abandonné.

1776-1792. Après deux ans d'abandon, les mines furent reprises par une nouvelle Société sous la direction de de Genssane. On attaque de nombreux filons à Villefort, et la dissémination des travaux empêche qu'aucun d'eux soit vigoureusement poussé. On installe la fonderie à Villefort. Les fonds allaient devenir insuffisants quand, en 1781, on découvrit les filons de Vialas. Les minerais, lavés à un bocard installé sur le Luech, sont transportés à dos de mulet à la fonderie de Villefort, et l'entreprise se soutient.

1792-1800. Au moment de la Révolution, malaise de l'exploitation par suite du manque de bras et de l'excessive cherté de toutes choses.

En l'an VI, Dolomieu écrivait : « La Compagnie qui exploite actuellement les mines de Villefort est une de celles de France où on a toujours employé le plus d'ordre et d'économie; cependant, ayant succédé à une première Compagnie qui avait commencé les travaux sans soin et sans intelligence; ayant payé à cette Compagnie une forte somme pour être substituée à ses droits, et dépensé plus de 250,000 francs pour monter cet établissement, elle a eu de la peine à subvenir tout à la fois aux dépenses journalières et aux intérêts des premières avances. »

1800 à 1825. L'exploitation se soutient dans des conditions défavorables. La direction locale manque d'habileté et d'activité.

1827-1837. Apport de quelques capitaux insuffisants pour les opérations en cours d'exécution ou projetées; entre autres, la translation de la fonderie de Villefort à Vialas, translation qui eut lieu en 1828. Grandes sécheresses qui arrêtent la production et annulent momentanément les ressources de l'exploitation. Arrêt et suspension d'un an.

1838-1856. Apport de capitaux qui permettent le développement des travaux d'avenir. Période de bénéfices croissants. Les travaux étaient dirigés par un ingénieur dont on ne peut omettre le nom, M. Solberge. Les filons de la localité furent étudiés à ce moment, mieux qu'on ne l'avait fait jusqu'alors, et cet ingénieur put faire adopter l'exécution de grands travaux d'avenir, tels que les principales galeries d'écoulement qui, poursuivies plus tard, ont soutenu l'entreprise jusqu'aux temps actuels.

A cette époque, les mines de Villefort étaient abandonnées, et toutes les forces de l'exploitation étaient particulièrement portées sur le groupe des filons de Vialas et dans des espaces assez rapprochés de la fonderie qu'on y avait établie.

Il y avait alors trois centres d'activité sur le flanc des montagnes; sur chacun de ces centres, on avait ouvert plusieurs étages de travaux jusqu'à la profondeur de 100 à 150 mètres; mais on ne pouvait descendre à une profondeur plus grande à cause de l'abondance des eaux, ou à cause des frais élevés d'extraction, dans l'absence de puissants moyens mécaniques et tout étant alors fait à bras d'hommes.

C'est dans ces circonstances que M. Solberge entreprit deux galeries d'écoulement qui devaient atteindre les filons, l'une à 80 mètres, l'autre à 200 mètres au-dessous des travaux les plus profonds, et assurer à l'exploitation un avenir de longue durée.

Après la mort de l'ingénieur qui avait indiqué ces remarquables travaux, peu d'années après leur commencement, et bien avant leur achèvement, les mines de Vialas furent soumises à un système d'extraction à outrance. On tirait le minerai partout où il était en vue, et les travaux d'exploration comme les travaux d'avenir furent simultanément partout négligés. L'entreprise courait vers de nouveaux dangers quand la direction passa dans d'autres mains plus habiles.

En 1856, la production d'argent, qui avait généralement varié entre 700 et 1,000 kilos, s'éleva à 1,500.

En 1857, les travaux d'avenir et d'aménagement reçurent une forte impulsion sous la direction de M. Rivot. Les gisements furent encore mieux étudiés que dans les temps antérieurs, le minerai fut reconnu en un grand nombre de points et la production s'était élevée à près de 2,000 kilos d'argent en 1862.

Villefort. — Ces mines, délaissées depuis longtemps, ont été reprises depuis peu d'années par la Société de Vialas, et des travaux importants y sont aujourd'hui en cours d'exécution. Ce district a été particulièrement étudié par M. Garnier, directeur actuel des mines.

Le district de Villefort est compris entre les vallées de l'Altier, du Chassézac et du Chalondres, et touche par un de ses sommets les trois départements du Gard, de l'Ardèche et de la Lozère. Il offre la physionomie générale de celui de Vialas en ce sens que, comme dans cette dernière localité, ainsi que nous le verrons plus loin, son ensemble est compris entre deux grands filons quartzeux, dirigés sur h. 9 ou N. O.-S. E., distants d'environ 3 kilomètres, et qui sont : l'un, *le grand filon de la Garde*, très-puissant; l'autre, *le grand filon de Mazimbert*.

Plusieurs autres branches, distantes d'environ 500 mètres au point de leur plus grand écartement, courant à peu près dans la même direction, constituent un faisceau remarquable sillonné par un grand nombre d'autres filons plombeux argentifères dirigés h. 5, ou à peu près E. O. Ces grands filons sont coupés par un très-puissant croiseur quartzeux, N. S. magnétique, de 20 mètres de puissance, dit *filon de la Roche*, et qui se développe sur plus de 10 kilomètres d'étendue.

On a reconnu dans ce district plus de soixante filons h. 5 et des filons h. 1 et h. 3 que l'on a particulièrement étudiés à Peyrelade, au Pécbadou, aux Aydons, au Chambon et aux Salces, et qui tous se trouvent dans le voisinage de la séparation des granites et des micaschistes. Ils passent indifféremment d'une roche dans une autre sans solution de continuité et sans différence apparente dans leur remplissage.

Indépendamment du grand croiseur de la Roche, on connaît encore des *failles* N. S. qui offrent une grande importance pour faciliter l'exécution des travaux de recherche, par suite de leur régularité et de celle des filons.

Voyons maintenant les caractères généraux de ces divers filons.

Filons h. 5 (presque E. O. m.). — Affleurements quartzo-barytiques. Le chapeau a généralement une très-faible épaisseur. A moins de 10 mètres sous la surface, leurs caractères changent tout à fait : la baryte tend à disparaître et la gangue devient un quartz un peu hyalin.

Puissance : elle est moyennement de 0^{m},30.

Minerai : galène argentifère. Près de la surface et dans la baryte, sa teneur en argent est très-faible; elle s'élève en passant dans le quartz et donne assez constamment 200 à 700 grammes aux 100 kilos de plomb.

On ne sait pas bien encore comment ces minerais, ainsi connus dans les micaschistes, se comporteront dans le granite. On a remarqué ailleurs que leur richesse en argent tendait à y diminuer notablement; mais, dans un des filons de Villefort, au Chambon et dans cette même roche, on a trouvé un minerai blendeux qui a fourni 1,500 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb. La loi qu'on avait semblé reconnaître de l'amoindrissement de la richesse argentifère des filons en passant de la région des schistes dans celle des granites pourrait donc n'être pas applicable à tout le district de Villefort, et, suivant toute apparence, les faits que l'on observera tendront de plus en plus à constater que cette richesse est subordonnée à la nature des gangues, quartz ou baryte, tant qu'on n'aura pas reconnu la présence de quelque autre minéral argentifère, tels que la bournonite, les cuivres gris ou les sulfures d'argent qui peuvent se présenter plus ou moins abondamment.

Filons h. 3 (N. E.-S. O. m.). — On les trouve principalement dans le granite porphyroïde, le granite dominant dans la contrée.

Puissance : 1 mètre à 1^{m},50.

Minerai : galène disséminée dans une gangue feldspathique. Leur teneur en argent est de 40 grammes aux 100 kilos de plomb.

Filons h. 1. — On n'en connaît jusqu'à présent qu'un qui ait été un peu

exploré : c'est le filon dit du *Rouard*. On le suit à la surface, sur une distance d'environ 1 kilomètre, avec minerai à l'affleurement.

Il passe des micaschistes dans le granite.

Dans les micaschistes, sa gangue est quartzeuse, et elle devient feldspathique dans les granites.

Puissance : 0,50.

Minerai : il est souvent en rognons et en boules. Sa teneur varie de 100 à 200 grammes d'argent.

Filons h. 9 (N. O.-S. E. m.). — Ces filons sont essentiellement quartzeux, ferrugineux et cariés à l'affleurement. Ils sont très-puissants, très-étendus et offrent en certains points, soit au toit, soit au mur, des traînées minérales.

Ils possèdent des salbandes parfaitement déterminées.

Ces filons, d'après l'idée qu'on en a aujourd'hui, idée manifestée généralement d'après des travaux peu étendus et surtout peu profonds, ne paraissent pas être le siége de minéralisations qui leur soient propres; ils semblent être particulièrement enrichis par le contact de veines latérales, et ils renferment des minerais dont les caractères sont ceux des filons qui les ont rencontrés.

Ainsi, dans le grand filon de *Mazimbert*, on retrouve le minerai de Peyrelade, et dans celui de *la Garde* on constate des émissions de minerais pauvres.

Ces grands filons h. 9 ne paraissent donc, jusqu'à présent, susceptibles que d'exploitations locales.

Nous pensons qu'il pourrait être dangereux de formuler des opinions trop absolues relativement au plus ou moins d'abondance de minerai dans ces filons. Les travaux ne nous paraissent pas assez avancés en France pour qu'il soit possible de s'exprimer d'une manière nette et fixe à cet égard, et il faut peut-être attendre que les circonstances aient permis de voir ces filons à des profondeurs plus grandes que celles auxquelles on les connaît aujourd'hui. Cette observation paraît d'autant plus fondée que bien des ingénieurs semblent admettre la possibilité d'un enrichissement notable pour quelques-uns d'entre eux.

Grand croiseur de la Roche. — Filon très-étendu, ainsi que nous l'avons dit plus haut, visible sur près de dix kilomètres. Son affleurement rocheux forme une crête saillante qui s'élève quelquefois de 10 à 15 mètres au-dessus du sol.

Direction. — N. S. m.

Puissance. — 10, 15 et 20 mètres.

Inclinaison. — Vertical.

Ce grand filon coupe tous les autres.

Minerai. — Il paraît être stérile. Cependant à *Saint-Jean-de-Chazorne* il semble avoir été sur quelques points l'objet d'anciennes attaques d'où l'on a extrait des minerais plombeux, blendeux et cuivreux siégeant dans le quartz.

On a constaté encore dans le district de Villefort des filons cuivreux; ainsi au *Freissinet*, dans un des vallons qui descend de la Lozère on voit plusieurs de ces filons encaissés dans le micaschiste, et courant presque dans la direction h. 9, ou N. 50 à 60 O.

Ils ont été travaillés par la compagnie de Vialas dans le cours du siècle dernier, et le plus important d'entre eux paraît être le précédent.

Filon de Freissinet. — Quartzeux avec sulfate de baryte, très-ocreux et moucheté près de la surface par des colorations cuivreuses.

Ce filon, dit M. Lan, pénètre dans le granite près du Pouget, mais il paraît y devenir stérile.

Puissance. — 0,80 à 1 mètre.

Minerai. — En 1773, le minerai essayé[1] produisit 26 livres de cuivre au quintal, 2 onces d'argent et un peu d'or, mais ce dernier métal s'y trouvait alors en trop faible quantité pour qu'on pût en faire le départ.

Les mines des environs de Villefort, dit Genssane, sont très-captieuses; elles ne donnent que par bouillons.

On pourrait, ajoute M. l'ingénieur Lan, qui rappelle ces paroles du mineur du dix-huitième siècle, en examinant bien le résultat des travaux intérieurs, trouver ce jugement un peu trop absolu pour plusieurs des gisements de la localité. C'est ce que pense également la compagnie actuelle de Vialas qui, soutenue aujourd'hui par une grande expérience locale dans ce genre de travail, n'hésite pas à travailler ces filons de nouveau.

Provenchère. — Crête quartzo-barytique s'étendant de *Festugeire*, commune de Provenchère à *Ferreyrole*, commune de Sainte-Marguerite dans l'Ardèche, encaissée dans le granite. On peut la suivre sur quatre kilomètres de longueur dans une direction rapprochée de E. O. Ce gisement renferme peu de galène et beaucoup de blende. Il recoupe une crête de quartz jaspe rouge stérile courant pendant environ 9 kilomètres dans la direction N. S. Il dessine la vallée de la *Borne* depuis la Paillerie, commune de Montselgues, jusqu'aux Aidons, commune des Balmelles et produit dans ces gorges sauvages un effet des plus pittoresques.

En résumé, d'après ces quelques mots, on voit que le district de Villefort présente tous les caractères aptes à lui donner une grande importance. Le voisinage des chemins de fer modifie avantageusement ses conditions d'exploitation, et, sous l'impulsion que donne aujourd'hui

1. Genssane.

aux travaux la direction des mines de Vialas, on peut prévoir qu'avant peu d'années, la France possédera dans ces contrées un centre métallifère productif de plus.

Pendant l'année 1872 des travaux de recherche étaient en activité auprès et en dehors de la concession de Villefort, dans l'Ardèche, le Gard et la Lozère.

Mines de Vialas.— Depuis 1781, l'exploitation de ces mines, à l'exception des nombreux travaux de recherche entrepris sous la surface de la concession, s'est concentrée dans une étendue maximum d'environ quarante hectares[1], sur la gauche du torrent le Luech, en face du village de Vialas.

Quand on connaît l'étendue concédée qui, ainsi que nous l'avons dit, est de plus de 11,000 hectares, on pourrait penser que cette minime partie de la concession se trouve exceptionnellement riche, mais en y réfléchissant un peu, on reconnaît qu'il ne doit pas en être ainsi. Le minerai fut trouvé par hasard en 1781 sur un des affleurements de la Picadière, près de Vialas et, depuis cette découverte, les travaux, s'étendant chaque année davantage, se sont concentrés autour d'elle et ont amené la construction des laveries et de l'usine sur les bords du Luech. Des travaux anciens ont été reconnus sur divers autres points; on y a fait des recherches, mais les difficultés de transport et la nécessité d'y créer d'autres centres d'activité en ont fait différer jusqu'à présent l'exploitation.

Les filons que l'on exploite ou qui sont reconnus à Vialas, au siége de l'exploitation actuelle, se trouvent compris entre deux grands filons quartzeux qui semblent les limiter au nord comme au sud, parallèles et distants l'un de l'autre d'environ 13 à 1400 mètres.

Ces deux filons, que l'on peut suivre à la surface sur une distance de deux myriamètres, ont reçu, à cause de leur position, de leur puissance et de leur aspect, les noms de *grand filon du Nord* et *grand filon du Sud*. Ils courent presque parallèlement à la ligne de jonction des granites et des micaschistes, et, à Vialas, ils sont encaissés dans ces dernières roches.

Grand filon du Nord. — Il se compose de plusieurs veines quartzeuses dont on suit les crêtes, tantôt écartées de 40 à 50 mètres les unes des autres, et tantôt rapprochées de manière à former un seul filon de 8 à 10 mètres de puissance.

Le quartz qui en constitue l'ensemble est généralement blanc laiteux, empâtant des fragments des schistes encaissants et il renferme un peu de pyrite, de blende et de galène peu argentifère.

1. *Annales des Mines*. Plan de M. Rivot, 1868.

Grand filon du Sud. — Il est divisé en plusieurs veines puissantes; presque exclusivement quartzeux, il atteint en quelques points jusqu'à 25 mètres de puissance.

Au col de Castagnols, il a plus de 15 mètres; il passe à Massufret, au Villaret, près du village de Saint-Maurice, et s'étend beaucoup plus loin.

Ce filon a été travaillé par les anciens sur quelques points, et on en a tiré beaucoup de minerai, mais le faible rendement de la galène en argent (80 grammes aux 100 kilos de plomb) l'a fait abandonner.

Direction. — Comme celle du grand filon du Nord, elle est à peu près de h. 8 à 9, ou N. 30 à 45 ouest magnétique. C'est la direction générale de ces nombreux filons quartzeux que nous avons déjà vus dans les départements voisins et que nous retrouverons dans l'Aveyron, contrée également remarquable par le nombre de ses gisements métallifères.

Ces deux filons, entre lesquels se trouve comprise aujourd'hui l'exploitation de Vialas, ne limitent pas, au sud et au nord, comme on pourrait être porté à le croire, le champ de production, c'est-à-dire qu'au nord comme au sud, au delà de ces grands filons, il en existe d'autres analogues à ceux que l'on trouve dans l'espace qui les sépare et qui probablement n'en sont que le prolongement; au nord, entre le grand filon du nord et les granites il en a été rencontré plusieurs qui pénètrent dans cette dernière roche, et au sud, au delà de la crête qui sépare les eaux du Luech de celles du Gardon, on en a reconnu qui ont été exploités par les anciens. On peut voir quelques-uns de leurs affleurements sur les routes qui serpentent au milieu de ces montagnes, et sur leurs versants on rencontre encore des scories anciennes qui témoignent de l'existence d'anciens travaux probablement encore inconnus.

Filons de Vialas. — Les mines de Vialas, particulièrement pratiquées entre les deux grands gisements quartzeux dont nous venons de parler, sont ouvertes sur de nombreux filons, dont le rendement moyen, en 1855. était de 48 de plomb et 190 à 200 grammes d'argent aux 100 kilos de minerai.

Ces teneurs n'ont probablement pas sensiblement varié depuis cette époque.

Quelques-uns de ces filons sont visibles au-dessus du sol, et montrent sur de grandes distances des affleurements de quartz ferrugineux et carié. L'examen de la surface de ces montagnes montre bien la trace des principaux filons, mais il serait cependant insuffisant pour faire reconnaître la totalité des gisements métallifères. « Des fentes à peine marquées, dit « M. Rivot, tenant à la surface une quantité insignifiante de minerai, « répondent, à une certaine profondeur, à des richesses considérables. »

Il en doit être naturellement ainsi, quand on connaît cette loi générale

si universellement reconnue de l'enrichissement à leur point de croisement de veines qui peuvent apparaître comme très-pauvres à la surface.

Sans entrer dans beaucoup de détails, qu'on retrouvera facilement dans les ouvrages spéciaux, nous dirons que si on jette un coup d'œil sur l'ensemble des filons actuellement exploités, connus ou recherchés, on y distingue trois directions principales :

1° La direction h. 7 à 9, comprenant les deux grands filons quartzeux, dont nous avons parlé plus haut;
2° H. 5 à 7;
3° H. 3.

Ces filons sont recoupés par plusieurs croiseurs et notamment par de nombreuses fissures nord-sud.

Les filons h. 5 à 7 forment un puissant faisceau de veines et de filons qui s'entrelacent dans ces directions ou dans des directions intermédiaires, connu et exploité sur au moins mille mètres de longueur, et compris dans une épaisseur de terrains de deux à trois cents mètres.

C'est à ce faisceau qu'appartiennent les filons des *Anciens*, des *Avesnes*, des *Trois-Postes*, du *Chat*, et les exploitations de la *Picadière*.

Le filon des *Anciens*, ainsi nommé à cause des travaux anciens qu'on y a rencontrés, presque vertical, a son inclinaison au sud; sa puissance est de $1^m,50$ à 2 mètres. La teneur du minerai dans tout le faisceau a varié suivant les directions; les plus riches en argent ont été reconnus dans les veines h. 5, qui ont fourni jusqu'à 700 grammes et plus de ce métal aux 100 kilos de plomb. La teneur moyenne a dépassé 400 gr.

Les filons h. 5 que l'on considère aujourd'hui comme les plus importants, et que M. Rivot, dans son travail sur les mines de Vialas, regarde comme les seuls véritablement métallifères, ont une puissance extrêmement variable aux affleurements; elle n'est quelquefois que de quelques centimètres avec carbonate de chaux, quartz et galène, et, dans quelques points où le minerai manque, ils présentent une puissance plus grande et des gangues ferrugineuses qui caractérisent, en général, les filons riches.

Leur inclinaison est au nord sous un angle de 60 à 65°, et le minerai s'y trouve dans des veines minces quelquefois très-étendues, plus ou moins rapprochées, qui obligent, dans certains cas, d'abattre la roche sur 1, 1,50, 2 et 3 mètres de largeur.

Aux filons h. 3 se rapportent les filons désignés sous les noms de filons du *Bosviel*, *Bois-de-Petit*, *Lorrain* et *Cortez*. Ces filons se rencontrent sur de grandes étendues. Ainsi le filon de Bosviel traverse tout l'espace de 13 à 1400 mètres compris entre les deux grands filons du Nord et du Sud, il coupe ces deux filons et le faisceau métallifère dont nous venons de

parler, et, d'après les plans de M. Rivot, il apparaît et se poursuit au delà du filon du Sud.

Ces filons, dont nous retrouvons la direction N. E. S. O. sur bien des points de la France, ont donc, au point de vue de leur développement, une très-grande importance. Nous mentionnerons particulièrement le suivant.

Filon de Bosviel, découvert en 1771. — On a reconnu qu'il avait été travaillé par les anciens, et, depuis cette époque, il a été l'objet d'exploitations considérables. On y a distingué deux branches métallifères.

Puissance. — 1 mètre à 2^m,50.

Inclinaison. — Au sud-est.

Ce filon est bien encaissé et fréquemment muni de salbandes.

Remplissage. — Partiellement quartzeux et barytique aux approches des filons h. 6 et 7.

M. Rivot considérait le filon de Bosviel comme un croiseur plutôt que comme un filon métallifère. Il attribuait la présence du minerai qu'on y a trouvé, et qui y existe, au voisinage des nombreuses veines h. 5, qui se trouvent à son mur, et à des réouvertures successives qui avaient permis l'introduction également successive des matières stériles ou riches.

Cette idée nous semble bien théorique et il nous sera permis même de la considérer comme dangereuse en ce sens qu'elle paraît tendre à pousser les exploitants à faire des recherches sur des filons n'ayant quelquefois qu'une apparence insignifiante et à négliger les caractères du filon principal.

La richesse de la galène en argent y a varié de 176 à 664 grammes, et elle a été en moyenne de 229 à 402[1].

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, les nombreux filons de Vialas ont été étudiés dans les plus grands détails par M. Rivot, et quoique nous ne partagions pas toutes les idées exprimées par cet ingénieur, nous ne pouvons nous dispenser de donner ici un aperçu du résultat de ses études qu'on trouvera, du reste, dans les annales de mines[2].

En admettant, ce qui est fort discutable, ces pénétrations successives dans les filons, des diverses matières qui les remplissent, soit pierreuses, soit métallifères, et les réouvertures de ces filons à diverses époques comme l'a expliqué, vers 1834, M. Fournet, pour se rendre compte du remplissage des filons de Pontgibaud, M. Rivot a fixé une succession de directions de cassures métallifères ou non, qui, établie d'après l'étude des croisements dans leur ordre d'ancienneté, est la suivante :

1. Lan.
2. *Annales des Mines*, 1863.

1° Filons,	h. 6 à 7	direction vraie,	E. 11° N.
2° —	h. 5	—	E. 33° 30′ N.
3° —	h. 4	—	N. 41° 30′ E.
4° —	h. 8 à 9	—	O. 19 à 20° N.
5° —	h. 1	—	S. 3° 30′ E.
6° —	h. 3	—	N. 26° 30′ E.
7° —	h. 6	—	E. 18° 30′ N.
8° Fentes,	h. N. S.	—	N. 18° 30′ O.

« Ce tableau comprend toutes les fractures observées à Vialas, à l'exception : 1° des glissements de terrain dirigés à peu près de l'est à l'ouest avec plongée vers le nord; 2° des failles h. 11, plongeant vers l'ouest; 3° des filons h. 10 à 11, à peu près verticaux, et plongeant vers l'ouest. Ces derniers sont certainement postérieurs aux fractures h. 3. »

Les matières minérales diverses auraient pénétré successivement dans les fentes, et pour les gangues comme pour la galène, on peut exprimer leur introduction relative de la manière suivante :

1° Quartz et pyrites des filons h. 4, au moment de la formation des fentes h. 4, ou à une époque à très-peu près postérieure;

2° Galène pauvre, quartz et carbonates de chaux, dans quelques veinules, h. 5, très-probablement à une époque antérieure aux fractures h. 8 à 9;

3° Quartz blanc laiteux des filons h. 8 à 9, avec pyrites, blende et galène pauvre en argent, au moment ou peu de temps après la formation des fractures h. 8 à 9;

4° Quartz ferrugineux des filons h. 1 à 3, quelque temps après la formation des fractures h. 3;

5° Sulfate de baryte, blanc, laiteux, cristallin, au moment de la formation des fractures h. 6, ou peu de temps après;

Galène à	150gr	d'argent,	carbonate de chaux, blanc opaque;
—	250	—	quartz et carbonate de chaux, blanc opaque;
—	350	—	quartz à grains fins, carbonates de chaux et de fer;
—	500	—	quartz et carbonate de chaux cristallin;
—	700	—	carbonate de chaux cristallisé, baryte rose.

Enfin, rapprochant les directions précédentes de celles des soulèvements des montagnes déjà données par M. Élie de Baumont, M. Rivot a cru pouvoir fixer l'époque de la formation de chacune d'elles et établir l'âge relatif des productions minérales. Il forme alors le tableau suivant pour l'époque des fractures.

1° h. 6 à 7,	système	du Finistère, correspondant aux terrains azoïques.
2° h. 5	—	du Westmoreland, correspondant au terrain silurien.
3° h. 4	—	de la Côte-d'Or, correspondant à la fin du terrain jurassique.
4° h. 8 à 9	—	des Pyrénées, correspondant à l'éocène moyen.
5° h. 1	—	Corse et Sardaigne, correspondant à la fin de l'éocène supérieur.
6° h. 3	—	Alpes Occidentales, correspondant à la fin du miocène supérieur.

7° h. 6, système des Alpes principales, correspondant à la fin du système des pliocène.

8° N. S. — Tenare, correspondant aux époques des alluvions anciennes.

Nous voyons donc enfin, d'après ces idées, que l'ensemble des gisements de Vialas aurait été formé depuis les périodes géologiques les plus anciennes jusqu'à l'époque quaternaire, et les minerais les plus riches seraient les plus récents.

Malheureusement ce travail remarquable est fondé sur la contemporanéité des fissures parallèles dans la croûte du globe, et comme il n'est pas encore prouvé que ces fissures sont de même âge et qu'on en connaît même qui sont parallèles et d'âge différent, on éprouve une certaine hésitation à admettre les conclusions précédentes. Il est d'ailleurs fort difficile de ne pas admettre que les puissances qui ont déterminé les fractures des grands filons quartzeux n'aient pas, en même temps, brisé et disloqué le sol autour d'eux dans des directions diverses. Cependant, on ne peut pas douter que les faisceaux métallifères de Vialas, comme tous ceux des départements voisins, n'appartiennent à un système général de fractures auxquelles ont concouru plus tôt le métamorphisme lent des roches que leurs divers soulèvements, pendant une période de temps fort longue *et continue* durant laquelle la nature des substances de remplissage a pu varier, et surtout présenter de grandes variations dans la quantité d'argent qu'elles renferment.

Enfin, il semble que le fait qui résulte principalement, et des travaux et des études de M. Rivot, soit la connaissance de la richesse et de l'importance des veines h. 5 dans cette partie du plateau central, connaissance que la pratique avait révélée depuis longtemps. Mais, dans les cas où ces veines sont fort minces, comme cela arrive souvent à Vialas, cette importance paraît devoir être maintenue entre certaines limites, parce que, dans ces cas, si l'on s'en tenait seulement à leur recherche, il serait à craindre que l'on s'égarât et on courrait le risque, malgré la haute teneur des minerais, de ne produire qu'une exploitation fort onéreuse.

Dans les années qui viennent de s'écouler, les mines de Vialas produisaient de 14 à 1,600 kilos d'argent annuellement. Lorsqu'on compare, au point de vue de la main-d'œuvre, la production de ces mines avec celle des mines de Pontgibaud, qui produisent près de 4,000 kilogrammes d'argent, on voit une différence dont on ne se rendrait peut-être pas bien compte si on ne connaissait les gisements de ces deux pays.

A Pontgibaud, les filons sont généralement beaucoup plus puissants que ne le sont ceux de Vialas, et l'abondance du minerai dans les colonnes métallifères, comme la nature généralement argileuse de la gangue, permettent d'opérer l'abatage productif à un prix moins élevé.

En 1855, M. Lan établissait ainsi les prix de revient de Vialas :

Exploitation.	14	à	16	fr. aux 100 kilos de schlick.
Lavage et transports extérieurs. .	2	à	3	
Traitement métallurgique.	7	à	8	
Frais généraux.	4	à	5	
Total des frais.	27	à	32	
Produit moyen.	50	à	55	
Produit net.	23		23	

Devant faire la part des intérêts et des bénéfices, de l'intérêt attribué au directeur et de la réserve.

Les mines de Vialas ont été presque constamment en accroissant leur production, et elles ont produit depuis quatre-vingts ans des sommes considérables dont une partie a été employée dans de nombreuses recherches, et notamment aux mines du Rouvergne dans le Gard.

Mines de Bluech et Pradal. — Historique[1]. — Ces mines ont été l'objet d'exploitations anciennes importantes, sur la date desquelles on ne peut rien dire de précis. L'un des gisements de cette contrée montre encore aujourd'hui de nombreux points d'attaque et les ouvertures béantes des anciens travaux.

1770 à 1793. Reprises vers la fin du siècle dernier, les nouveaux exploitants pénétrèrent dans un dédale de vieux ouvrages qu'on attribua aux Romains; mais, malgré les difficultés à surmonter, les minerais que l'on rencontra déterminèrent la construction de bocards, d'une laverie et d'une fonderie dont on ne voit plus aujourd'hui que les vestiges.

1793-1841. Les événements de la Révolution forcèrent la plupart des intéressés à s'exiler, et les mines furent abandonnées. Bientôt après, les établissements furent détruits.

1841-1849. Concédées en 1841, on ne fit dans cette période aucun travail sérieux.

1850-1872. Ces mines passent aux mains d'une Société en commandite qui, après avoir dépensé la majeure partie de son capital, d'ailleurs peu important, en travaux à l'extérieur, abandonna l'entreprise vers 1860.

Ceux qui devinrent ensuite propriétaires ne firent pas davantage; on ne connaît donc pas aujourd'hui, en 1873, la mine de Bluech, mieux qu'on ne la connaissait en 1792. On n'a pas encore pénétré au-dessous des anciens travaux depuis qu'on a cherché à y rentrer, et on peut dire que cette mine est restée abandonnée depuis des siècles. Cependant on y a constaté la présence de riches veines de minerais de plomb possédant une haute teneur en argent.

1. *Annales des Mines*, 1855. Lan.

Filons de Bluech. — Lorsque, descendant des hauteurs qui dominent les mines de Vialas et que longe la route d'Alais au Pont-de-Montvert, on arrive au hameau de Bluech, dans la commune de Saint-Privat-de-Vallongue, presque à l'origine d'un des affluents du Gardon, on est frappé à la vue d'un affleurement imposant, d'une grande puissance, qui semble surgir du sol et couvrir de ses débris les pentes de la vallée. Il s'étend depuis les environs de Saint-Privat jusque sur les hauteurs du col de Jalcreste, et beaucoup au delà.

Cet affleurement est précisément l'un des filons de Bluech, un des plus importants de la contrée.

Direction : h. 8 à 9. Il est parallèle aux deux grands filons quartzeux de Vialas et, comme eux, il appartient à un même ensemble de puissants phénomènes géologiques en rapport avec les productions métalliques de la contrée.

Inclinaison : 75 à 80° au nord ou nord-ouest. On voit que le filon de Bluech diffère des grands filons de Vialas par cette inclinaison, puisque ceux-ci plongent vers le sud. Ce fait est remarquable, ce me semble, en ce qu'il rapproche le filon de Bluech des filons de Vialas qui renferment les minerais les plus riches en argent.

Puissance. — Ce filon est d'une puissance considérable. Ses crêtes dominent le sol environnant de plus de 20 mètres, et il atteint en quelques points 30 et 40 mètres de largeur.

Gangues. — Il est essentiellement quartzeux et barytique. Le quartz et la baryte y forment des zones puissantes, et on y voit empâtés des fragments des schistes environnants.

Minerai. — D'après les documents que l'on possède sur les travaux anciens apparents encore, ou sur ceux qui ont été exécutés depuis près d'un siècle, on peut juger que le minerai, essentiellement composé de galène argentifère, constitue des colonnes importantes descendant dans les profondeurs, et que, dans ces colonnes, il présente des bandes compactes plus ou moins épaisses.

Les travaux exécutés de 1849 à 1852 ont donné un minerai provenant des approches des ouvrages anciens et possédant une teneur de 350 à 620 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb d'œuvre.

Les minerais exclusivement barytiques ne tiennent que de 30 à 60 grammes[1].

La moyenne générale de la teneur pour les divers minerais est de 400 grammes.

On voit donc que ce filon dans la concession de Bluech peut être con-

1. Lan.

sidéré, en raison de cette richesse comme en raison de son développement, comme l'un des plus importants de la contrée.

Les travaux exécutés depuis 1770 pour la reprise de cette mine ont tous été faits au voisinage d'un point de l'affleurement où apparaissaient de grands travaux anciens, et connu sous le nom de *la Quille*. Les premiers exploitants, par des galeries dans la vallée, ou par des puits, ont cherché à atteindre au-dessous de ces travaux; mais, à 80 mètres au-dessous de leur tête, ils les ont encore rencontrés et ils ont été gênés par l'affluence des eaux qui en provenaient. Pendant ces recherches, on a reconnu des veines minérales devenant d'autant plus riches qu'elles se rapprochaient davantage des travaux anciens. Quelques-unes d'entre elles, qu'on peut voir encore aujourd'hui (1872), avaient de 0,30 à 0,40 de puissance, et la galène qu'elles produisaient était d'une grande richesse en argent. Les détails donnés par M. Lan[1] en diront plus que ce que nous pourrions exprimer ici. Mais nous pourrons ajouter qu'il est facile d'en déduire que si les derniers exploitants, au lieu d'épuiser leur capital en ouvrages de constructions et de laveries, avaient porté leurs forces sur les travaux souterrains, et, sans s'effrayer de l'affluence des eaux que donnaient les excavations anciennes, avaient eu un peu de patience, ils seraient probablement parvenus bientôt au-dessous de ces excavations et ils auraient rencontré le prolongement des richesses que les anciens ont laissées.

Quand on voit l'entrée des travaux de la Quille, on est véritablement frappé par les puissants caractères de richesse que présente le filon en ce point.

En poursuivant l'affleurement dans le sens de sa direction, on trouve encore d'autres endroits qui paraissent avoir été travaillés avec autant d'activité et qui possèdent tout autant d'apparences favorables.

Il n'est pas probable que les anciens aient pénétré à plus de 100 ou 120 mètres au-dessous de ces affleurements, et la grande puissance du filon donne lieu de croire que les colonnes minérales qu'ils ont exploitées se prolongent à une profondeur beaucoup plus grande.

Il est donc raisonnable de penser que le filon de Bluech, à peine exploré depuis plusieurs siècles, renferme encore, dans ses profondeurs et en plusieurs points de son étendue, des richesses argentifères considérables.

Filon de Castanet. — Le grand et remarquable gisement dont nous venons de parler, dont on voit les traces sur de si grandes étendues, n'est pas le seul qui existe dans la concession de Bluech. On en trouve un autre, parallèle, situé à environ 600 mètres de distance, bien développé dans les ravins des *Jonquiés* et de la *Martinerie*. Le nom de *Martinerie*,

1. *Annales des Mines*, 1855.

rapproché de celui de *Martinet* que l'on donnait autrefois et dans le moyen âge aux usines, dans les temps où l'exploitation des mines était la plus active, paraît indiquer l'existence en ces lieux de travaux anciens prolongés.

Puissance : 5 à 6 mètres.

Remplissage : quartzo-barytique avec nombreuses altérations ferrugineuses.

Aucun travail récent n'a été fait sur ce gisement. Mais, si on réfléchit sur tout ce que l'on a vu jusqu'à présent, sur cette idée, généralement admise, que les grands filons de quartz de ces contrées s'enrichissent à la rencontre de veines traversant les micaschistes qui les encaissent, on comprendra facilement que l'intervalle de 600 mètres compris entre le filon de Bluech et celui de Castanet peut être encore sillonné dans la profondeur par des veines latérales qui portent à chacun d'eux leur contingent de richesse, et qui peuvent en être tout à la fois ou les croiseurs ou les ramifications.

On conçoit donc enfin, sans entrer dans d'autres détails, qu'il y ait là lieu à d'importantes études.

Minerai. — Il est, comme ailleurs dans cette contrée, barytique ou quartzeux. La galène barytique a donné 170 grammes d'argent, à l'affleurement. La teneur moyenne y est aussi de 400 grammes aux 100 kilos de plomb.

Les deux filons de Bluech et de Castanet, ainsi que nous l'avons dit, peuvent être poursuivis sur de grandes distances; mais, sur les hauteurs qui dominent la vallée du Ruiz-Martine et au delà du cours de la Mémente, ils paraissent s'arrêter contre un puissant filon de fraidonite; pourtant, leur parcours connu sur plus de 2 kilomètres est plus que suffisant pour donner lieu à des exploitations séculaires.

Filons de Pradal. — Ces filons, qui dépendent encore de la concession de Bluech, montrent leurs affleurements et les traces des travaux dont ils ont été l'objet anciennement ou dans le dix-huitième siècle, sur les versants de la Mémente et au-dessus des profondes anfractuosités au sein desquelles coulent les affluents du Gardon. On voit encore aujourd'hui, sur la Mémente, non loin du col de Jalcreste, les ruines des usines établies après 1770. Depuis cette époque, aucun travail n'a été entrepris dans ces contrées.

On a exprimé l'idée que leurs produits, à ce moment, avaient été peu considérables. Cette opinion peut être vraie; mais, comme elle résulte de l'examen des travaux faits pendant leur période d'installation, elle ne paraît avoir aucune signification relativement à la richesse ou à la stérilité des gisements, et, d'après les renseignements qui nous ont été transmis comme d'après l'examen que nous avons fait nous-même sur

les lieux, les filons plombeux argentifères paraissent nombreux et riches.

Les minerais de Pradal ont donné moyennement 400 grammes d'argent aux 100 kilos plomb[1].

Quand on voit ce pays, on comprend facilement l'abandon dont il a été frappé depuis tant d'années. L'accès en est difficile et les montagnes, autrefois couvertes de forêts, sont aujourd'hui presque entièrement dénudées. On ne pouvait donc, il y a peu d'années encore, ni transporter les minerais au loin, ni les fondre sur place. Ces conditions paraissent devoir changer dans un délai assez rapproché. Une route partant de Florac, aujourd'hui en construction, donnera à ces contrées la vie qui leur manque et transformera probablement les conditions d'existence de ces mines dont l'avenir nous paraît important.

Mines du Collet-de-Dèze. — En descendant le cours du Gardon et se rapprochant des limites du département du Gard, on rencontre encore une série de filons qui paraissent appartenir au faisceau métallifère de Bluech et n'en être que le prolongement. On y connaît un grand filon quartzeux dirigé sur h. 8, mais incliné au sud, et deux faisceaux de filons, connus sous le nom de *Grande-Mazière* et *Petite-Mazière*, qui se croisent.

La Grande-Mazière a été anciennement travaillée.

Ces filons divers, à gangue barytique, marchent dans les directions h. 5 et h. 7 et inclinent généralement au sud. Leur puissance variable atteint 1,50, et les minerais ont donné 150 à 200 grammes d'argent aux 100 kilos.

On a construit un important atelier de préparation mécanique; mais, dit M. l'ingénieur Descottes, « cette construction prématurée ayant absorbé des fonds qu'on aurait dû employer aux travaux de la mine, a entraîné la ruine de l'entreprise » (1860). En 1872, les changements dans la direction n'avaient pas produit de meilleurs résultats. On compte dans cette concession 55 à 60 filons reconnus plus ou moins riches.

Saint-Michel-de-Dèze. — Cette concession s'étend sur les communes de Saint-Michel-de-Dèze et de Saint-Hilaire. Elle appartient encore au faisceau précédent et elle embrasse à la fois le plomb et l'antimoine. D'après M. l'ingénieur Descottes, on n'y connaît qu'un seul filon de galène qui, jusqu'en 1862, n'avait jamais été l'objet de travaux sérieux. En 1872, elle était encore dans l'abandon.

Ces deux dernières concessions sont plus rapprochées du bassin houiller de Portes que celle de Bluech.

Mines de Bedouès et Cocurès. — Aux environs et à peu de distance de

1. Lan.

Florac, dans la vallée du Tarn, se trouve le groupe des mines de Bedouès, Cocurès et Ispagnac, appartenant à deux concessions. C'est de ce côté que se trouvent aussi, comme aux *Bondons*, les gîtes d'alquifoux que l'on rencontre sur les pentes méridionales de la Lozère.

De nombreux gisements existent encore dans cette dernière contrée, mais leur principal caractère est de présenter, en général, des filons peu puissants contenant souvent un minerai de plomb peu riche en argent.

La concession de Cocurès renferme un grand nombre d'affleurements que l'on peut suivre, sur de grandes étendues, au milieu des schistes anciens et sur les deux rives du Tarn. Les anciens y ont fait peu de travaux, et, en 1872, les propriétaires actuels n'y avaient pratiqué que quelques recherches.

Parmi les filons connus, nous citerons les suivants, tels qu'ils ont été reconnus, dans ces dernières années, au milieu des schistes :

Filon de Fleury, quartzo-barytique.
Direction : h. 5.
Inclinaison : au nord.
Puissance : 0,30.
Minerai : galène à 20 pour 100 plomb et 500 à 700 grammes d'argent aux 100 kilos plomb d'œuvre.
Il est connu sur une étendue d'environ 1,000 mètres.

Filon des Peupliers, quartzo-barytique.
Direction : h. 9.
Inclinaison : au nord.
Puissance : 0,40.
Minerai : galène à 30 pour 100 plomb et 300 grammes argent.
Étendue connue : 650 mètres.

Filon des Agudes, quartzo-barytique.
Direction : h. 6 à 7.
Inclinaison : nord.
Puissance : 0,60.
Minerai : galène à 30 pour 100 plomb et 400 grammes argent.
Étendue connue : 700 mètres.

Ces exemples suffisent pour montrer que les minerais de cette contrée possèdent une teneur en argent assez élevée, et que les filons, courant dans des directions diverses, peuvent donner lieu à des croisements où l'on pourrait rencontrer des amas et des colonnes métalliques qui n'apparaissent pas à la surface. M. Rivot, attachant une importance de premier ordre aux filons h. 5, avait considéré cette partie de la Lozère

comme riche; mais, néanmoins, la concession de Cocurès était encore délaissée par ses propriétaires en 1872.

Il est probable que le peu de puissance des filons et des veines minérales, l'absence fréquente de salbandes terreuses qui puissent faciliter le travail, la dureté des roches des filons et l'éloignement du combustible, sont ou ont été les principales causes de l'abandon actuel.

M. Lan a cité un grand nombre de gisements plombeux dans la vallée du Tarn et sur la route de Florac à Pont-de-Montvert, et, entre autres, ceux du *Roussouneinc* où l'on voit les déblais de travaux anciens qui paraissent assez importants.

Filon de Roussouneinc. — Affleurement barytique, encaissé dans les schistes micacés. Presque E.-O.

Tourel. — Anciens travaux ouverts probablement sur le prolongement du filon précédent. Nombreux affleurements, dans des directions diverses, qui paraissent être les ramifications d'un filon principal.

Ravin de Ramponcel. — Nombreux filons de quartz, tenant un minerai d'une teneur de 200 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Vallat-de-la-Tuile. — Au contact des granites et des schistes. Gros affleurement quartzo-barytique chargé d'oxyde de fer à l'affleurement.

Direction : N. O.-S. E.

Inclinaison : à l'est.

Puissance : 2 à 3 mètres.

Les paysans l'exploitaient pour alquifoux.

Bondons, alquifoux. — Ce lieu est le centre d'une bande de gîtes pauvres en argent, qui s'étend jusque dans la concession d'Ispagnac et au col de Montmirat. Les nombreux filons qui en forment l'ensemble gisent dans les granites et pénètrent dans les calcaires dolomitiques qui les recouvrent. Dans ces calcaires, les filons prennent une plus grande puissance ; le minerai de plomb se trouve, au milieu de ces calcaires, noyé dans la baryte, en amas et en veines dans diverses ramifications. Sa teneur moyenne est de 50 gr. argent aux 100 kil. plomb. Les paysans ont, dans tous les temps, ouvert de nombreuses galeries sur ces gîtes.

Mines d'Ispagnac. — Cette concession s'étend sur les communes d'Ispagnac, de Saint-Étienne, de Valdonnez, des Bondons et de Bedouès. Elle est, en quelque sorte, à cheval sur le col de Montmirat qui divise les eaux du Lot de celles du Tarn. Sur les sommets situés au nord-est de ce col et de la concession se trouvent des crêtes de filons près desquelles on peut voir des traînées longitudinales de scories et des murs très-anciens

qui, là comme dans tant d'autres points de la Lozère, indiquent une activité ancienne minéralurgique très-prolongée.

Toute la région qui se trouve à l'est de la route de Florac à Mende, auprès d'Ispagnac, est formée de granites sur lesquels s'appuient les schistes anciens, recouverts eux-mêmes sur les sommets par les calcaires dolomitiques de l'infralias, ainsi qu'on peut le voir au col de Montmirat.

On a reconnu dans cette concession au moins 56 filons, encaissés dans les schistes, pénétrant dans le granite et quelquefois apparents dans le calcaire.

Leur *direction* varie de h. 5 à h. 9 et leur *puissance* de 0,60 à 4 mètres.

La teneur de leur minerai en argent varie beaucoup aussi, et elle est généralement de 55 à 290 grammes aux 100 kilos de plomb d'œuvre.

Des études faites récemment par M. l'ingénieur Tourgon ont montré que ces filons, passant dans le granite, changent complétement de caractères. A l'approche des granites, la galène augmente en puissance, comme on l'a vu au filon Sainte-Luce où elle formait une colonne remarquable, et dans le granite on ne trouva plus qu'un filon pourri, décomposé et stérile.

D'après le même ingénieur, on peut établir les faits suivants :

1° Les filons h. 6 plongent au sud, traversant de grands espaces de terrains. Affleurements en larges sillons à la surface;

2° Les filons h. 8, dans les schistes, plongent au nord. Leurs affleurements sont peu apparents. La minéralisation est plus faible et les minerais sont plus riches en argent;

3° Les filons h. 10 sont puissants (3 ou 4 mètres), leur remplissage est rubanné et zoné. Les gangues sont surtout quartzeuses et feldspathiques;

4° Les h. 3 se comportent comme les h. 6, mais plus pauvres en minerai qui est généralement de l'alquifoux;

5° Les h. 5 n'ont presque pas d'affleurements. Leurs minerais sont riches en argent.

On aura une idée plus exacte encore de la manière dont se présentent les filons de ces contrées par le tableau suivant de quelques-uns d'entre eux :

DÉSIGNATION.	GANGUE.	ROCHE ENCAISSANTE.	DIRECTION.	PUISSANCE.	INCLINAISON.	GRAMMES D'ARGENT aux 100 kil. plomb.
				m.		
Filon *Sainte-Luce*...	Q. schiste..	Schistes.	E. 10° S.	1,80	S.	55
— *des Anciens*...	Q. porphyre.	Id...	N. 40° E.	3,60	N.-E.	142
— *du Buisson*....	Id....	Id...	N. 35° S.	3,50	N.-E.	142
— *St-Barthélemi*..	Q. schiste..	Id...	E. 10° S.	1,20	N.	54
— *Saint-Honoré*..	Q. granite..	Granite.	E. 20° N.	3,00	S.	30
— *Bachareess*....	Q. porphyre.	Id...	E. 10° N.	2,50	S.	65
— *Ailhaud*......	Q. schiste..	Schistes.	E. 10° S.	0,60	N.	170
— *Devoir*.......	Q. porphyre.	Granite.	E. 10° N.	1,80	S.	53
— *Loure*........	Calcaire....	Calcaire.	E. 25° S.	1,90	S.-O.	290
— *Lonjagne*.....	Q. schiste..	Schistes.	E. 25° S.	0,80	S.-O.	97

Les mines de la juridiction d'Ispagnac étaient connues depuis très-longtemps. On les exploitait pendant le quinzième siècle. En 1866 elles étaient dans un complet abandon; elles ont été reprises dans ces derniers temps, et en 1872 on travaillait avec une certaine activité les filons particulièrement situés dans les schistes, et aux abords de la route de Florac à Mende.

Ces derniers travaux ont été bientôt abandonnés. Il paraît, d'après ce qu'on peut savoir des causes de ce nouvel abandon, que leur but principal n'était pas celui de l'exploitation des gisements.

Versants septentrionaux de la Lozère. — De nombreux gisements de plomb argentifère ou d'alquifoux se montrent encore dans une zone puissante qui traverse presque le département, en suivant le cours des vallées de l'Altier, du Lot et du Chassezac, de Villefort à Mende. On les poursuit beaucoup au delà, jusqu'aux environs de Marvejols. Pendant son long parcours, sur les versants du mont Lozère, cette zone est particulièrement caractérisée par la présence des minerais pauvres en argent ou des alquifoux, parmi lesquels il s'en trouve néanmoins d'une richesse aussi élevée que celles que nous avons eu occasion de constater jusqu'ici.

Des anciens travaux considérables, des scories et des ruines existent en une foule de points, et ces gisements ont été, pour ainsi dire, abandonnés pendant des siècles, et travaillés seulement par les paysans; mais, dans ces dernières années, des études et des recherches sérieuses ont été faites notamment sur les communes du Bleymard et de Saint-Julien-du-Tournel.

M. Lan a constaté depuis longtemps la présence de cette zone qui borde les massifs granitiques au nord comme la zone de Vialas les borde au sud.

Cubières, *Orcières*, *Vareilles*, *le Tournel*, *Allenc*, *Oultet*, aux environs du Bleymard ou de Bagnols-les-Bains, *Grosviala*, sur le Chassezac et beaucoup d'autres localités intermédiaires, présentent entre Villefort et Mende une série de gîtes montrant leurs crêtes quartzo-barytiques, près de la ligne de jonction du calcaire et des schistes, dans l'une ou l'autre de ces deux roches, ou traversant les calcaires dolomitiques en y affectant un grand développement de baryte. Ils se rapportent à une direction générale N. 40 à 50 O.

Parmi ces gisements nous citerons les suivants.

Ravin d'Oultet. — Puissant affleurement quartzeux coupant les schistes.

Puissance. 10 mètres.

Gangue, quartz et veines de baryte. — Stérile dans les schistes, il pousse de nombreuses ramifications dans les calcaires de l'infralias. Ces ramifications présentent des masses d'alquifoux anciennement exploitées.

Bahours, près de Mende. — Un principal filon sur le ruisseau le *Genest*, très-étendu, dans les schistes, à leur limite avec les calcaires.

Travaux anciens considérables; haldes puissantes.

Direction : E. S. E.-O. N. O.

Puissance : 0,50 à 1 mètre.

Minerais. — Galène avec un peu de pyrite de cuivre. Teneur, 140 gr. d'argent aux 100 kilos de plomb.

Gangue, quartz, baryte et spath fluor.

Orcières, commune de Saint-Julien-de Tournel : grand réseau de filons barytiques courant à peu près E.-O. dans les couches de l'infralias, avec galène et blende. Puissance totale du faisceau 30 à 40 mètres.

Les minerais analysés ont donné :

Plomb,	2	argent	800	grammes aux 100 kilos plomb.
—	24	—	150	—
—	46	—	184	—
—	65	—	841	—

Au Tournel, commune de Saint-Julien-du-Tournel, et juste sous le souterrain de la route nationale de Pont-Saint-Esprit à Mende, on voit un filon de quartz courant à peu près E.-O. sur plus de 1 kilomètre dans le micaschiste. Il fut attaqué en deux points dans les années 1867-1870. C'est un filon rubanné à gangue de quartz hyalin cristallisé géodique.

Ce filon, remarquable par son rubannement, présente sur une puissance totale de 0,90 à 1 mètre, de l'éponte au centre, la série de substances suivantes :

1. Descottes.

1° Quartz calcédoine;
2° Quartz hyalin cristallisé;
3° Quartz hyalin avec galène et chalcopyrite;
4° Barytine rose;
5° Pyrite de fer, au centre.

A côté de lui se rencontrent quelques filets de quartz courant sur heure 5 avec galène grise, riche à 500 grammes d'argent.

Essayés dans ces dernières années, les minerais ont fourni :

Plomb	38	argent	542	grammes aux 100 kilos plomb.
—	25	—	402	—
—	28	—	154	—
—	31	—	265 [1]	—

A *Neyrac*, commune de Bleymard, au Valat d'Argalas, on observe un filon de baryte et galène courant E.-O., à travers le calcaire à fucoïde, avec bancs horizontaux de silex (oolithe inférieur). La minéralisation s'est faite à la face inférieure des bans de silex, jusqu'à plus de 15 mètres du filon. La galène est par rognons très-gros, à grandes facettes avec carbonate de plomb terreux. Travaux anciens considérables. Haldes énormes. Galeries des anciens qui ont recoupé toute la montagne. Gîte actuellement inexploité.

Mazel, commune de Saint-Julien de Tournel. — Gisement analogue. Crête quartzeuse avec pyrite de fer. 45 gr. argent aux 100 kil. plomb.

Aucun des gîtes remarquables de cette localité n'était concédé en 1872. On a reconnu dans la même localité une dizaine d'autres filons dans les micaschistes.

La distance moyenne de cette région à la gare de Villefort est de 30 kilomètres sur une belle route nationale.

Allenc et la *Rouvière*, canton de Mende.

Allenc. — Un filon de quartz hyalin, souvent cristallisé, de 2 mètres de puissance avec pyrites de cuivre et galène. *Direction* presque E.-O. dans les calcaires de l'infralias. Ce filon est visible sur six kilomètres. Puissance 1m,50. Travaux anciens sur toute la crête.

A *la Rouvière*, filon identique, même gangue. Même direction, au lieu dit la *Baraque-des-Salses*. Longueur 1 kilomètre.

Vareilles. — Plomb 26, argent 190 grammes [2].

Le Chevroux. — Plomb 73 argent 41 [3].
— 69 — 86.

1. Descottes
2-3. *Id.*

Sur les bords du Chassezac, à *Aufage* et *Grosviala*, les dolomies sont particulièrement riches en alquifoux qui paraît être en relation avec le puissant filon suivant :

Filon de Grosviala. — Il est situé presque à la limite des schistes et du lias et a été l'objet de travaux assez étendus.

Direction : O. N. O.

Puissance : 2 à 3 mètres.

Remplissage : Baryte.

Minerai. — Alquifoux et mouches cuivreuses. Galène à 15 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb. D'autres gîtes ont été signalés tout le long du Chassezac.

Environs de Marvejols. — Plus de 80 filons ont été découverts dans cette contrée; en 1866 dix d'entre eux avaient été suivis par des travaux sur les communes de *Saint-Léger-de-Peyre*, *Lachamp*, *Montrodat*, *Antrenas*, *Chirac* et *Marvejols*. Aujourd'hui, en 1873, les recherches sont particulièrement poursuivies à Saint-Léger-de-Peyre. Dans un grand nombre de points, sur ces communes, on a trouvé des anciens travaux importants, et l'on remarque à la surface du sol, des haldes et des déblais, une grande quantité de scories et les ruines ou les débris des antiques fonderies.

« Ces anciennes mines, dit M. Descottes, paraissent avoir été exploitées, « les unes à la pointerolle, les autres par le feu. Dans celles du ravin des « Prades, on a trouvé des médailles romaines, une pointerolle et des « pompes dont les anneaux étaient les uns en fer, les autres en argent. « Ces anciens travaux n'ont, d'ailleurs, jamais été poussés à une grande « profondeur, et laissent ainsi toute facilité pour de nouvelles exploi- « tations. »

Mines de Meyrueis. — A l'extrémité méridionale du département de la Lozère se trouve la concession des mines de Meyrueis, qui s'étend sur les communes de *Meyrueis*, *Gatuzières*, *Fraissinet*, *Rousses* et *Bassurel*, sous une étendue superficielle de 10,575 hectares. On rencontre encore de nombreux gisements de cuivre, plomb, argent et antimoine dans les montagnes accidentées qui se prolongent vers le département du Gard.

Vers la fin du siècle dernier, des recherches et des travaux importants ont été faits dans la concession de Meyrueis et aux environs par la maison de Saint-Sauveur, sous la direction de Genssane, mais, ainsi que nous l'avons déjà dit, ces travaux ont été brusquement interrompus par les événements de la Révolution. Abandonnés depuis cette époque, ils ont été repris dans ces dernières années, vers 1855, par les nouveaux propriétaires qui, aujourd'hui, possèdent en même temps les concessions de Bedouès et Cocurès et celle de Saint-Sauveur aux limites du Gard.

On y a fait depuis 12 ans des travaux d'exploration étendus, qui ont

reconnu plusieurs filons plombeux et cuivreux dont quelques-uns avaient été anciennement travaillés. Ces travaux ont été surtout développés dans le département du Gard, nous y reviendrons plus loin.

De nombreux filons sillonnent cette partie de la Lozère, et on y voit des crêtes saillantes et quartzeuses puissantes, qui suivent les inflexions des montagnes sur de grandes distances.

Parmi ces filons nous citerons les suivants déjà signalés par de Gensane[1] et par M. Lan :

Marquairès, près de ce hameau, sur la rive gauche du Tarnon, crête quartzo-barytique, encaissée dans les schistes talqueux.

Direction : environ E. N. E.-O. S. O.

Puissance : 10 à 12 mètres.

Gangue : quartz, baryte, zonée. — Crête très-ocreuse. Minerais plombeux.

Ce filon a été l'objet de travaux anciens très-étendus, qui furent repris vers la fin du siècle dernier et abandonnés en 1792. Depuis cette époque nous ne sachions pas qu'il y ait rien été fait.

Férussac. — Aux environs de ce pays, les schistes sont sillonnés par de gros filons quartzeux, formés quelquefois de quartz carié ou ocreux, paraissant partout stériles et dont la direction se rapproche de celle des filons métallifères.

Cabrillac. — Filon dans le granite, connu sur une longueur de 2,000 mètres, exploré dans ces dernières années.

Direction : h. 8 à 9, environ N. O.-S. E.

Puissance : 1^{m},25.

Gangue : quartzeuse.

Minerai : galène à 40 pour 100 de plomb, et 30 à 62 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Meyrueis. — Aux environs de Meyrueis on voit se développer, à la surface, des crêtes saillantes quartzeuses encaissées dans les schistes qui, à l'ouest du Brézé, ont été l'objet de travaux anciens et récents, à l'*Escourgeade* et à *Pourcarès*.

Les gisements que l'on connaît dans cet endroit sont connus sur une longueur de près de cinq kilomètres. On y a travaillé récemment et notamment à l'escourgeade.

Direction : elle est généralement sur l'h. 1, ou N. 15, E. m.

Puissance : 1 mètre.

Inclinaison : diverses.

Gangue : quartz.

1. *Histoire naturelle du Languedoc.*

Minerai : galène et pyrite de cuivre. La galène renferme 40 pour 100 plomb, 125 à 715 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Ribevenès. — On y connaît plusieurs filons qui pénètrent dans les calcaires du lias.

Enfin des minerais ont été extraits dans ces dernières années dans les montagnes de *Saint-Etienne-Vallée-Française* et du *Pompidou*, et suivant toute apparence il existe encore, dans ces contrées, un grand nombre de gisements qui, depuis longtemps, auraient été recherchés et peut-être utilisés, si les moyens de communication avaient été plus faciles qu'ils ne le sont réellement.

Mines de cuivre. — D'après tout ce que nous venons de dire, on peut reconnaître que les minerais de plomb et de plomb argentifère sont extrêmement répandus dans la Lozère; mais il n'en est pas de même de ceux de cuivre.

Nous avons déjà vu que plusieurs filons cuivreux ont été exploités dans la concession de Villefort; mais, dans toute cette partie du département, en dehors de ces filons, on ne voit le cuivre que disséminé à l'état de pyrite dans les filons plombeux, et notamment dans ceux qui bordent le revers nord du mont Lozère. On ne rencontre véritablement les filons cuivreux que sur les pentes de l'Aigoual et particulièrement dans le département du Gard.

Dans la Lozère, les environs de Meyrueis possèdent non pas des filons cuivreux proprement dits, mais des filons plombo-cuivreux : tels sont ceux de *Pourcarés* et de l'*Escourgeade*, dont nous avons parlé plus haut. En dehors de ces lieux, on retrouve le minerai de cuivre dans les environs : à *Gatuzières*, *Campise*, *Campredon*, *Ferussac*, *les Rousses* et *Malbosc*.

Gatuzières. — Puissant filon dans les schistes anciens et passant dans le lias. Il disparaît sous les roches de l'oolithe inférieure, dans lesquelles il ne pénètre pas. Il a été reconnu par des travaux sur une longueur de 2,000 mètres.

Direction : h. 8 à 9, N. E.-S. O.

Puissance : 1,50 à 2 mètres.

Remplissage : quartz et baryte en zones parallèles.

Minerai : galène et pyrite de cuivre, le plus souvent mêlé au quartz. Les minerais de plomb que renferme ce filon contiennent 350 à 700 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb d'œuvre.

Aux environs du filon de Gatuzières, qu'on peut voir facilement près de la route qui de Florac conduit à Meyrueis, les calcaires semblent puissamment métamorphisés. Les couches qui s'en rapprochent présentent de nombreuses colorations de carbonate et des lentilles de 0,25 à 0,60 d'épaisseur de minerai de cuivre.

Ce filon paraît avoir une très-grande étendue dans la direction de Cabrillac et se poursuivre sur 6 à 8 kilomètres de distance.

Il a été l'objet d'anciens travaux, dont on attribue une partie à de GensSane.

Férussac. — Ce filon se montre à la surface sous forme de blocs quartzeux cariés, renfermant aussi de la galène et de la pyrite de cuivre. Il est encaissé dans les schistes et connu sur une longueur de 1,000 mètres.

Direction : h. 8 à 9; N. O.-S. E.

Puissance : 0,80 à 1 mètre.

Campise et Campredon. — Aux environs de ces deux pays on rencontre plusieurs crêtes affleurant toutes au milieu des schistes, parmi lesquelles on en distingue qui sont formées de quartz carié et ocreux pénétré de carbonate et de pyrite de cuivre. Leur puissance est de 2 à 3 mètres, et ils se relient aux gîtes plombeux de Ribevenès.

Rousses. — A l'est des Rousses, on voit un énorme filon de fer carbonaté avec sulfate de baryte, pyrites de fer, cuivre et galène, d'une puissance de 2 à 3 mètres et courant dans la direction S. S. E.-N. N. O.

On voit enfin que, dans cette partie de la Lozère, on rencontre de nombreux et puissants filons, dirigés dans une direction générale N. O.-S. E., ou qui se recoupent et s'entrecroisent. On reconnaît qu'ils n'ont été jusqu'à présent l'objet que d'explorations bien superficielles, et il est permis de penser que bien des richesses inconnues peuvent y être renfermées.

Antimoine. — Les mines d'antimoine de la Lozère se trouvent toutes dans la région sud-est du département, vers les limites de ce département avec celui du Gard.

Elles consistent généralement en filons, ou plutôt en filons-couches insérés au milieu des schistes appartenant à la partie la plus supérieure des micaschistes.

On les trouve aux environs de Florac, sur les montagnes qui dominent la Memente : au *plan de Fontmort*, *Cassagnas*, *Rouve*, *Solpeyran* et *Vieljouve*; dans les divers affluents du Gardon : à *Moissac*, *Saint-Étienne-Vallée-Française*; *Saint-Germain-de-Calberte*; *Saint-Martin-de-Boubaux*, *Saint-Hilaire*; le *Collet-de-Dèze*, *Saint-Michel-de-Dèze*, *Saint-Andéol-de-Clerguemont*, etc.

Ces zones diverses de gîtes d'antimoine se rattachent encore à une série de gisements que l'on retrouve non loin de là, dans le département du Gard, aux environs de *Saint-Jean-du-Gard*, à *Saint-Paul-la-Coste* et *Malbosc*.

Ces mines ont donné pendant quelque temps de très-beaux bénéfices; mais, disait M. Descottes en 1866, la découverte de gisements plus riches

en Corse et en Algérie, et probablement aussi la mauvaise direction des travaux qui sont aujourd'hui presque entièrement éboulés, ont enlevé, du moins pour le présent, toute importance à ces exploitations.

Cette dernière observation est malheureusement trop vraie, et il a suffi de voir une fois quelques-uns des travaux faits dans ces localités pour en comprendre la justesse. Dans certains points, des filons riches n'ont été attaqués qu'auprès de leurs affleurements, et en descendant jusqu'à ce qu'on fût chassé par les eaux; ailleurs, on a reculé devant l'exécution de galeries d'écoulement même de peu de longueur, et on a préféré abandonner la mine que de faire quelques avances qui auraient assuré un certain avenir, facilité l'extraction et au moins détruit pour un temps l'obligation coûteuse des travaux d'épuisement.

Parmi ces mines, nous citerons les suivantes :

Cassagnas. — On en a tiré beaucoup de minerai d'antimoine avec avantage. Les travaux y furent arrêtés par l'affluence des eaux. En 1872, on ne voyait sur la montagne que des déblais et l'entrée de quelques galeries.

Direction : elle est, en général, à peu près N. N. E.

Inclinaison : 30 à 40°.

Puissance : 0,60 à 0,80.

Minerai : sulfure d'antimoine, souvent massif, ou dans une gangue quartzeuse, et accompagné de bandes argileuses. On peut facilement ouvrir de nouvelles galeries d'écoulement et retrouver des massifs intacts.

Vieljouve, *Rouve*, *Solpeyran.*—Plusieurs filons analogues au précédent. Le minerai s'y trouve associé au quartz et à la baryte. La puissance de quelques-uns atteint 1 mètre et 1^m,50. On y a fait quelques travaux dans ces dernières années, mais leur peu d'étendue n'a pu conduire à aucun résultat satisfaisant. On peut y créer facilement, croyons-nous, une exploitation rémunératrice. Les mines de Vieljouve ont été exploitées avec avantage à plusieurs niveaux. Le minerai paraît y former des amas lenticulaires.

Saint-Etienne Vallée-Française. — Les environs de ce pays renferment des mines importantes. Les filons y forment des faisceaux d'une grande continuité, associés à divers gîtes de plomb argentifère de mêmes formes et qui leur paraissent contemporains. Parmi ces filons, nous rappellerons :

Le filon de la Coupette.—C'est un filon principal au milieu de plusieurs autres veines couchées dans l'intérieur des schistes.

Direction : N. N. E.-S. S. O.

Remplissage : argileux. Fragments de schistes, rognons de quartz avec alquifoux et sulfure d'antimoine en veines et en amas.

Puissance : 0,80 à 1 mètre.

Saint-Michel et Collet-de-Dèze. — Dans cette contrée se trouvent les gisements qui, en 1855, étaient les plus importants de la Lozère. Ils sont analogues aux précédents et ont été l'objet de nombreux travaux, comme dans toutes les autres localités dont nous avons donné les noms.

Manganèse. — Il se trouve sur plusieurs points du département, « généralement dans les assises inférieures du trias et du terrain jurassique[1]. » On en a exploité pendant quelque temps près de Meyrueis, pour les forges d'Alais, qui donnait 39 pour 100 d'oxyde, 17,45 pour 100 d'oxyde de fer, 13,50 de chaux. Les difficultés du transport en avaient arrêté l'exploitation en 1866.

On le trouve en gros blocs au col de Montmirat et aux environs de Bagnols.

On cite encore aux environs de Florac un énorme filon de quartz dont les fentes sont remplies de manganèse oxydé, et qui coupe la rivière de la Trueyre dans la direction N. O.-S. E.

En résumé, nous voyons que le département de la Lozère renferme une quantité considérable de gisements de plomb, d'argent et d'autres métaux ; que, depuis des siècles, il n'a été travaillé activement que dans les environs de Vialas, sur une minime étendue de sa surface; qu'il a été le centre d'exploitations anciennes importantes, au temps des Romains et du moyen âge, et que, pour lui donner la vie et produire les métaux qu'il possède, il suffit d'accélérer et multiplier les voies de communication qui lui ont manqué jusqu'à ce jour.

Département du Gard.

Ce département, déjà si remarquable par ses riches houillères, ne l'est pas moins par les productions métalliques qu'il renferme ; il est, pour ainsi dire, appuyé sur les derniers contre-forts du plateau central qui y constituent, au nord et au nord-ouest, une région puissamment montagneuse, connue sous le nom de *Cévennes*.

Ces montagnes, qui se relient aux Pyrénées par les Montagnes-Noires et les Corbières en passant par l'Hérault, l'Aveyron et le Tarn, forment, de ce côté de la France, une bordure parallèle au littoral, et sur leurs cimes on peut suivre la ligne de partage des eaux de l'Océan et de la Méditerranée. Elles sont généralement composées de roches anciennes

1. Descottes.

que nous avons vues dans la Lozère, et c'est sur elles que viennent se superposer les bassins houillers de la Grand'-Combe, de Bességes et du Vigan; enfin, tous les terrains anciens qui en forment l'ensemble, s'abaissant de plus en plus vers la mer, vont disparaître au-dessous des calcaires jurassiques ou néocomiens qui constituent la majeure partie de l'étendue du département, jusqu'au littoral ou au Rhône.

C'est dans les montagnes dont nous venons de parler, ou à leur approche, que se trouvent principalement les substances métalliques et que se montrent les nombreux vestiges d'anciennes exploitations minérales. Le nom seul de Cévennes rappelle les agitations que causèrent les guerres religieuses, dans ces contrées, au douzième et au dix-septième siècle, et leur souvenir, sur lequel nous ne nous étendrons pas, suffit pour faire comprendre combien les événements qui en résultèrent durent porter de trouble dans le développement des mines.

Principaux gisements et mines existant dans le département du Gard :

Genolhac, plomb argentifère. Concession de

Malons, — Concession de 1873 sur 1535 hectares.

Rouvergne, — — 1864 sur 4138 hectares.

Notre-Dame-de-Laval, plomb argentifère. Anciens travaux, très-étendus.

Le Mas-Dieu, — —

Malataverne, — —

Saint-Sébastien d'Aigrefeuille, concédé en 1833 sur 1612 hectares.

Lacoste (Durfort), concédé en 1829 sur 270 hectares.

La grande Vernissière, concédé en 1829 sur 93 hectares.

Valensole, concédé en 1858 sur 2693 hectares.

Sainte-Cécile d'Andorge, plomb, zinc. Concédé en 1861 sur 353 hectares.

Saint-Sauveur, plomb, argent, cuivre. Concédé en 1862 sur 2429 hectares, travaux actuels.

Clairac, plomb, zinc. Concédé en 1850 sur 445 hectares.

Saint-Laurent-le-Minier et environs, plomb, argent, cuivre, calamine.

Auzonnet, antimoine. Concédé en 1832.

Fraissinet, — — 1838 sur 160 hectares.

Martinet de Villeneuve, antimoine. Concédé en 1833 sur 96 hectares.

Panissière, pyrite de fer. Concédé en 1861 sur 174 hectares.

Saint-Julien de Valgalgues, pyrite de fer. Concession de 1791 sur 333 hectares.

Des Adams, pyrite de fer. Concession de 1855 sur 965 hectares.

Saint-Félix, pyrite, plomb, zinc. Concession de 1856 sur 350 hectares.

Soulier, — — sur 331 hectares.

Cendras, — — 1865 sur 182 hectares.

Saint-Jean-du-Pin, pyrite, plomb, zinc. Concédé en 1856 sur 691 hectares.

Saint-Florent, pyrite.

Valleraugue, pyrite.

Pallières, pyrite. Concédé en 1812.

Environs de *Saint-Roman*, cuivre.

Roche Malegache, canton de Sumène, cuivre.

Environs du *Vigan*. Anciens travaux.

Malons. — Cette concession présente au quartier du *Mas-de-l'Air* un lambeau de terrain triasique, présentant une couche imprégnée de galène argentifère. Cette couche, presque horizontale, repose directement sur les terrains cristallins. Elle a été l'objet de travaux anciens.

Dans le quartier de l'Elze et au versant du Chassezac, on connaît quatre filons dans le micaschiste. Parmi eux se trouve le filon dit des *Essarts*, que l'on peut suivre sur près de 3 kilomètres, dans le granite ou dans les schistes.

Sa salbande orientale est formée par un gros filon de granulite. Sa gangue, quartzeuse et très-peu barytique, renferme de la galène et peu de blende.

Ce filon a été l'objet de travaux anciens très-considérables.

Dans ces derniers temps, on a essayé de les reprendre. On a vidé quelques kastes et construit une petite laverie et un bocard sur les bords du Chassezac. Ces travaux étaient poursuivis en 1872.

Genolhac. — Ce pays, situé au milieu des hautes montagnes qui dominent les profondeurs de l'Homol, est sillonné par un grand nombre de filons appartenant, comme ceux de Vialas dont ils ne sont pas éloignés, à cette puissante auréole métallifère qui entoure les sommités granitiques du mont Lozère. Les gisements y sont caractérisés par des chapeaux renfermant du carbonate et du phosphate de plomb. Le granite encaissant est lui-même décomposé sur une épaisseur considérable.

Dans ces dernières années, on y a exécuté des travaux dont nous ne connaissons pas l'étendue. Le voisinage du chemin de fer et l'existence de filons qui se poursuivent sur de grandes distances donnent vraisemblablement à ces mines une importance qui se manifestera quand les travaux y seront plus développés.

Rouvergne, Peyremalle. — Lorsqu'on jette un coup d'œil général sur la partie de la carte géologique du Gard comprise entre la route de Bellepoile à Bességes, ou entre le cours du Luech, et les environs du Mas-Dieu, sur la route d'Alais, on voit une sorte de promontoire ou longue bande de micaschistes et de stéaschistes, se rattachant, au nord, aux montagnes de Genolhac et de la Lozère; resserré, à l'est et à l'ouest, entre les terrains houillers de Bességes et de Portes, et disparaissant au sud sous les couches du trias. Ce massif primitif, sur une longueur de plus de 15 kilomètres, présente plusieurs groupes de filons plus ou moins travaillés anciennement.

Les principaux de ces groupes sont, en partant du sud au nord :

1° Filons du Moulin;
2° — de la Fernet;
3° — de Cessous;

4° Filons de Masse;
5° — de Cornac;
6° — de Chambon;
7° — de Tarrabias.

La plupart de ces filons ont été travaillés récemment, mais ce sont surtout ceux du *Moulin* et de la *Fernet* qui ont été l'objet des travaux les plus étendus, que poursuit aujourd'hui la Compagnie de Vialas.

Filons du Moulin. — On y a particulièrement recherché les filons dirigés sur l'h. 5 qui y sont nombreux. Les uns sont entièrement dans le micaschiste, les autres affleurent dans le terrain houiller. Leur inclinaison est au nord, leur gangue est composée de sulfate de baryte et de quartz, et la teneur en argent de leurs minerais varie de 100 à 250 grammes aux 100 kilos de plomb et de 180 à 750, suivant les documents officiels[1].

Filons de la Fernet. — Ce groupe paraît être plus important que le précédent. Il gît dans les micaschistes. Les filons, dirigés h. 5 et plongeant au nord, y offrent aux affleurements d'excellents caractères. Le minerai y est plus abondant, un peu plus mélangé d'autres sulfures et plus argentifère; la baryte et le quartz s'y retrouvent comme gangues, mais avec des aspects différents de ceux observés au Moulin : ici, la baryte est plus ou moins colorée, et le quartz y est enfumé et noir en même temps que très-disséminé; au Moulin, au contraire, ces deux gangues sont d'une blancheur éclatante.

Ces filons sont croisés par d'autres, comme à Vialas. Les plus importants sont les croiseurs quartzeux dirigés h. 8 à 9 et les croiseurs h. 3. On a exploré l'un d'eux, le filon *Boissel*, sur une grande longueur, et on en a extrait une certaine quantité de minerai.

Dans cinq des filons h. 5 explorés, la teneur des minerais en argent a varié et a donné aux essais 144, 380, 300, 160, 750, 250 et jusqu'à 1,100 grammes aux 100 kilos de plomb.

Des galènes massives provenant d'un filon h. 9, analysées au Bureau des mines d'Alais, ont donné :

Plomb 80, argent 147 grammes aux 100 kilos plomb.
— 79, — 156 grammes[2]. —

La teneur du filon Boissel a été de 277 grammes d'argent aux 100 kilos plomb.

Des travaux importants sont en cours d'exécution sur ce groupe de filons.

1. Notice. Exposition de 1867.
2. *Annales des Mines*, 1866. Ledoux.

Cessous. — Plusieurs filons quartzeux et barytiques sur lesquels des travaux d'exploration ont été ouverts dans ces dernières années

Masse. — On n'a fait que constater l'existence de ce gisement, composé de filons h. 5 plongeant au nord, remplis de sulfate de baryte et de pyrite altérée. Un bloc détaché a fourni de la galène à 187 grammes d'argent aux 100 kilos plomb.

Cornac. — On trouve dans le ravin de Cornac, et dans le micaschiste, un assez grand nombre de filons h. 5 inclinés au nord, offrant comme remplissage de la baryte, du quartz et de la galène. La teneur en argent a varié de 140 à 210 grammes.

Le Chambon, Charreneuve, Tarrabias, Chamboredon. — Tous ces divers gisements peuvent être considérés comme appartenant à un même système. On y observe deux directions principales sur h. 5 et h. 7. Quelques-uns de ces filons sont assez abondamment minéralisés à l'affleurement. La teneur en argent paraît faible pour la région du Chambon et de Tarrabias; elle atteint à peine 100 grammes aux 100 kilos de plomb. Elle paraît plus forte pour la région de Chamboredon.

Enfin, cette bande de micaschistes qui, sous le nom de concession de Rouvergne, appartient en grande partie à la Compagnie de Vialas, est entrecoupée par de nombreux gisements qui pourraient probablement occuper les forces de plusieurs entreprises. Depuis plusieurs années, des sommes importantes y ont été employées en travaux d'exploration et préparatoires, principalement appliquées aux groupes de la Fernet et du Moulin : les résultats obtenus n'ont pas semblé, jusqu'à 1873, répondre à l'importance des dépenses, et cela tient peut-être à l'idée presque exclusive qui paraît avoir dominé l'entreprise dès le début. Les renseignements que nous avons recueillis donnent, en effet, lieu de croire qu'on s'y est particulièrement attaché à la recherche des filons h. 5 que M. Rivot considérait comme les seuls vraiment métallifères.

Dans un des affluents de l'Auzonnet qui passe à Saint-Jean-de-Valérisole, on remarque le lieu dit *les Mines*, et à peu de distance au-dessous, sur l'Auzonnet, le lieu dit *le Martinet*. Ces noms rappellent évidemment d'anciennes exploitations dans le massif de montagnes que nous venons de considérer.

Des anciens travaux existent aussi aux environs de *Peyremalle*, sur les bords de la Cèze. On en voit encore les décombres et ils ont été signalés par les anciens mineurs.

Sainte-Cécile-d'Andorge. — Cette concession, peu éloignée des houillères de la Grand'-Combe, est située dans la vallée du Gardon d'Alais, à quelques kilomètres au-dessous du Collet-de-Dèze. En 1872, on n'y faisait

aucun travail. On y voit aussi les traces d'anciens travaux qui paraissent avoir été assez étendus.

Notre-Dame-de-Laval. — Lorsque, de la route d'Alais à Portes, à peu de distance de Mas-Dieu, on jette les regards vers Laval, situé dans les profondeurs d'un vallon tributaire du Gardon, on voit une quantité considérable de décombres recouvrant un monticule, en quelque sorte encaissé entre les deux montagnes qui les dominent. C'est l'emplacement des mines de Laval qui, comme celles du *Mas-Dieu*, étaient exploitées dans le quatorzième siècle et le furent probablement bien longtemps auparavant.

D'après les anciens minéralogistes, ces mines et celles du *Mas-Dieu* furent découvertes en 1345.

Les déblais de ces excavations occupent une grande surface, et il est facile de reconnaître qu'ils résultent d'une exploitation prolongée. Nous ne connaissons pas le lieu où les minerais qu'on en extrayait étaient fondus, mais on trouve encore des scories plombeuses disséminées sur les versants rapprochés, et il y a lieu de croire que la fusion se faisait sur place, au milieu des forêts qui alors recouvraient la contrée.

Gisement. — La grande surface occupée par les déblais montre que l'on a exploité à Notre-Dame-de-Laval un gisement bien différent de ceux dont nous venons de parler. Il se trouve subordonné aux couches du trias qui recouvrent le terrain houiller à stratification discordante. Ces couches sont presque horizontales et offrent l'aspect d'une puissante arkose plombifère et cuprifère. Le minerai extrait paraît donc avoir appartenu à un gisement analogue à ceux que nous avons retrouvés en plusieurs endroits et dans l'ouest de la France, avec cette bien grande différence qu'il est séparé des terrains anciens par toute l'épaisseur du terrain houiller.

Suivant toute apparence, et d'après ce que l'on peut juger en voyant encore quelques galeries ouvertes, les roches du trias sont traversées, dans des sens divers, par des veines métallifères qui ont été particulièrement l'objet de l'exploitation, et il est probable, sans toutefois que nous puissions l'affirmer, qu'elles ont été minéralisées par des épanchements de filons traversant le terrain houiller. C'est au moins ce que l'on peut juger en voyant ce dernier, aux environs du Mas-Dieu, sillonné par des filons quartzeux et barytiques. Je crois que ce gisement pourrait être l'objet d'études d'un grand intérêt au point de vue industriel et scientifique. Malheureusement il est resté dans l'abandon depuis des siècles, et les travaux d'exploration qu'on y a faits dans ces dernières années n'ont eu qu'une bien faible importance.

Minerais. — Ils sont associés au quartz qui compose presque exclusive-

ment la masse des déblais extraits, et ils consistent en galène associée à des minerais de cuivre.

Analysés à Alais, ils ont produit:

Galène riche,	35 plomb,	196 grammes argent aux 100 kilos plomb.	
—	41 —	122	—
Galène pauvre,	10 —	321	—

Malataverne. — Si, après avoir quitté les mines de houille de Rochebelle, on prend la route qui conduit à Saint-Paul-Lacoste, après avoir un peu remonté le Gardon, on voit, sur la gauche du vallon, une montagne rocheuse composée de couches, reposant sur les micaschistes et traversée par de nombreux filons quartzeux et barytiques.

Des anciens travaux considérables, dont on voit les traces et les excavations encore béantes, courent dans des directions diverses, et notamment à peu près nord-est-sud-ouest, sur plus de 600 mètres de longueur.

Sur les penchants de la montagne, on voit des blocs de quartz détachés, des cristallisations siliceuses et des croûtes ferrugineuses qui révèlent l'existence de filons assez puissants. Les colorations vertes que l'on rencontre au milieu des déblais indiquent encore que les minerais plombeux y sont associés à des pyrites de cuivre.

Des galènes de Malataverne, analysées par M. l'ingénieur Baron, ont donné 200 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Nous n'avons pu recueillir aucun renseignement sur l'époque de l'exploitation de ces mines qui semblent avoir eu une certaine importance, mais tout porte à croire qu'elles devaient être en activité en même temps que celles de Laval et de Mas-Dieu.

Je crois qu'on ne sait rien sur ce qui concerne leur profondeur; ce qu'on y voit semble montrer que les travaux s'étendent au moins au niveau des vallées et que les gisements se prolongent dans l'intérieur des micaschistes qui forment la base de ces montagnes.

En remarquant le rapprochement de ces mines, des houillères et de voies de communication faciles, on ne peut s'empêcher d'être surpris non-seulement de l'abandon persistant dans lequel elles se sont trouvées dans le cours du siècle actuel, mais surtout, si nous sommes bien informés, de l'état d'ignorance dans lequel on se trouve au sujet de leur richesse ou de leur valeur.

Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille. Carnoulès, Pallières, Durfort, etc. — Cette mine, comme celles de Notre-Dame-de-Laval, de *Pallières*, de *Durfort* et celles qui se trouvent dans cette zone, appartient à un gisement en couches subordonnées à des arkoses triasiques. La plupart de ces mines ont été, dans les temps anciens, l'objet de travaux considérables, et on remarque au milieu d'elles des minerais divers et de nombreuses transformations minérales qui, utilisées par l'industrie, offrent aussi le plus

grand intérêt au point de vue de la science. On y cherche les filons générateurs et, ainsi que le disait déjà en 1859 M. l'ingénieur Parran[1], on n'explique pas encore d'une manière satisfaisante les variations de minerais qu'on y rencontre, malgré les ressources que peuvent présenter les idées scientifiques relatives à l'action des gaz, des eaux, des courants électriques, de la température et de la pression.

Gisement. — Considéré d'une manière générale, dans ces lieux divers, il consiste en une couche métallifère de plusieurs mètres de puissance, faiblement inclinée, associée à un poudingue quartzeux, formant la base du terrain triasique et reposant sur le granite.

La mine de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille est devenue une exploitation importante qui, en 1869, produisait près de 10,000 tonnes de minerai. Nous en aurons une idée en résumant ce qui a été exposé sur les mines de Pallières et des environs par M. l'ingénieur Parran.

La chaîne de Pallières, dirigée N. N. E.-S. S. O., est granitique et elle présente, parallèlement à son axe, une crête quartzeuse, saillante au-dessus du sol, presque verticale, qui paraît surgir du granite, comme un puissant filon, mais dont la composition semble s'identifier avec les arkoses de la base du trias.

Des deux côtés de l'axe granitique règnent des gîtes métallifères dont les éléments sont la blende, la galène et la pyrite de fer.

Ces gîtes, dit M. Parran, sont très-remarquables par un chapeau de fer très-épais enclavé le plus souvent dans les marnes du trias, et qui provient de la décomposition des pyrites. On les a exploités longtemps comme minerais de fer pour l'usine d'Alais. Ils se montrent dans les calcaires du lias ou dans les trias : ainsi, l'ancienne mine de Saint-Félix-de-Pallières consiste en une série de poches pleines de calamine et de galène disséminées dans les dolomies infraliasiques.

En quelques points, on voit des veines métalliques croisant la crête quartzeuse et l'enrichissant de manière à donner naissance à une arkose quartzo-plombifère rappelant celle de Carnoulès; ces veines sont accompagnées de rognons barytiques dont la substance ne se trouve pas ordinairement dans les amas plombifères et zincifères de la localité.

On a trouvé dans ces mines des terres d'un gris jaunâtre, principalement formées de sulfates de plomb, et d'une puissance variable atteignant quelquefois 3 mètres et plus. Ces sulfates sont associés à des terres chargées de sulfates de fer qui forment la salbande à leur mur.

La pyrite occupe la partie supérieure des gîtes; la galène apparaît en dessous, massive, à grains plus ou moins serrés, accompagnée d'un peu de pyrite et de blende. Elle présente une épaisseur variable qui a atteint quelquefois 5 mètres. A Pallières, cette galène, près de la partie supé-

1. *Annales des Mines*, 1859.

rieure du gîte, a été transformée en sulfates, comme le prouvent les rognons de galène conservés au milieu d'eux.

La galène de Pallières donne 120 grammes d'argent aux 100 kilos de minerai. Plusieurs essais sur les sulfates ont donné 180 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb d'œuvre. Elle est associée à la calamine, la blende et au carbonate de plomb.

Minerai de la Croix-de-Pallières analysé à Alais :

Galène riche,	42,30 plomb,	117 grammes argent aux 100 kilos plomb.
Sulfate de plomb,	55,00 —	149 —

A Durfort, la pyrite manque et le gisement se trouve dans les assises régulières de la dolomie infraliasique. On y trouve la chaux fluatée, la calamine et la blende au toit, et l'alquifoux généralement au mur, en noyaux empâtés dans la dolomie ou dans la chaux fluatée.

On voit, enfin, que dans ces gisements les substances métalliques ont subi des transformations près des affleurements. La pyrite a été changée en hydroxyde de fer, la blende en calamine, la galène en sulfate de plomb, et cette dernière transformation est remarquable en ce qu'elle diffère des changements ordinaires de ce minerai en carbonates ou phosphates.

A l'exception de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, ces mines, si activement exploitées anciennement, ne l'ont été que bien faiblement dans le cours du siècle actuel.

Clairac et Montalet, calamine. — Sur les rives de la Cèze, entre Saint-Ambroix et Bességes, on a reconnu depuis longtemps la présence de la calamine au milieu des calcaires qui y recouvrent le trias et le terrain houiller.

Après 1850, des travaux ont été faits à Clairac, mais ils n'ont donné que de faibles résultats et ont été abandonnés bientôt après. Dans le siècle dernier, de Genssane, dans la description du Languedoc[1], signala à Montalet, sur la rive droite de la Cèze et presque en face de Clairac, un puissant filon de calamine. Ce filon n'a pas été retrouvé; mais depuis l'existence du chemin de fer, on a signalé, dans la tranchée la plus rapprochée de Saint-Ambroix, un filon de même nature qui pourrait bien en être la suite et auquel jusqu'à présent, 1872, il n'a été donné, que nous sachions, aucune attention. En parlant du gîte de Montalet, de Genssane dit : « Il a plus de 4 toises de largeur et il y a deux sortes de calamine, une plombeuse et une ferrugineuse semblable à celle de la fameuse montagne de Calmsberg, près d'Aix-la-Chapelle. »

Mines de Saint-Sauveur. — *Historique.* — Vers 1775, de Genssane, dont

1. *Histoire naturelle du Languedoc*, 1775.

le nom se retrouve auprès de tant de mines de France pendant le siècle dernier, qui avait déjà signalé la plupart des gisements métalliques et houillers du Languedoc, et parmi eux ceux des environs de Florac et de Meyrueis, découvrit les mines de Saint-Sauveur.

Les recherches y furent commencées par les seigneurs du pays avec un très-faible capital, « dix louis par associé entre quelques personnes[1]. »

En 1776, les produits augmentèrent.

En 1777, on avait tiré 2,000 quintaux de minerai « qui, joints avec ce qui avait été déjà extrait, formaient un amas capable de payer non-seulement les usines, mais encore de rembourser toutes les dépenses. »

Dans ces recherches, on découvrit une vieille galerie murée à doubles murs, et, ces murs abattus, on vit « une galerie magnifique, ouvrage des Romains, d'anciens travaux et de beaux filons. »

Ces ouvrages, dont on ignorait alors l'existence, avaient été évidemment fermés sous la menace de conflagrations politiques ou de guerres.

1778. On exploitait cinq mines à Saint-Sauveur : *Sainte-Barbe, celle des Romains*, la mine des *Terres-Rouges*, d'argent de *Montjardin* et la mine de cuivre des *Combelles*. On construisit des bocards et une usine près de l'exploitation.

1792. Les complications de toutes sortes avaient surgi avec la Révolution : les bras manquèrent, l'émigration des principaux intéressés détermina l'abandon des travaux et les usines furent détruites.

1792-1850. Pendant près de soixante ans, ces mines restèrent dans un délaissement complet, et c'est seulement en 1850 qu'on rentra dans les vieux travaux des *Combelles*. Sous le prétexte d'y faire des recherches, on abattit quelques massifs de minerai et on n'y fit rien de plus.

1860-1872. En 1860, ces mines furent étudiées d'une manière plus sérieuse et elles furent l'objet d'une concession en 1862. Bientôt après, elles se trouvaient dans les mains d'un même propriétaire avec celles de Meyrueis et de Bedouès.

Pendant cette dernière période, le caractère des travaux a été principalement les recherches, l'exploration et la préparation de l'avenir. Jusqu'en 1872, il avait été abattu très-peu de minerai.

Une usine d'expérimentation a été construite à la Mouline, pour servir de base à un établissement plus développé ultérieur.

Des travaux considérables ont été exécutés à Saint-Sauveur, et entre autres une galerie d'écoulement, dite le Travers-Ban de Villemagne, fort avancée, servant de galerie de roulage à grande section.

En 1870, on comptait dans ces trois concessions environ 6,000 mètres de galeries ou puits, dont 4,500 nouveaux et 1,500 anciens.

On distingue principalement près de Saint-Sauveur deux crêtes visibles sur de très-grandes longueurs, passant des schistes dans les calcaires du

1. *Histoire naturelle du Languedoc.* — *Annales des Mines*, 1855. Lan.

lias et marchant de Saint-Sauveur vers Montjardin et Lanuéjols. Ces deux filons furent exploités par les anciens et ce sont eux qui, repris par de Genssane, avaient alors le nom de filons de Saint-Sauveur et de Sainte-Barbe.

Le tableau suivant donne l'idée des filons qu'on a explorés récemment, de leur importance et de leur richesse :

FILONS.	MINÉRAI.	GANGUE.	ROCHE encaissante.	DIRECTION.	PUISSANCE.	LONGUEUR connue à la surface.	TENEUR POUR 100 Cuivre.	TENEUR POUR 100 Plomb.	ARGENT aux 100 kil. plomb.
					m.				grammes.
Combelles...	Cuivre pyriteux	Quartz.....	Schistes....	H. 10	0,80	360	25	»	»
Villemagne..	Pl. arg, cuivre.	Q. baryte..	Calc. du Lias.	H. 6 à 7	2,00	4800	12	25	250
La Mouline..	Id.....	Quartz.....	Schistes....	H. 9	0,60	2400	10	»	»
Montjardin..	Id.....	Baryte.....	Calc. du Lias.	H. 6 à 7	0,30	200	»	32	100 à 600
La Boissière.	Id.....	Q. et baryte.	Id.....	H. 6 à 7	3,00	»	»	50	50 à 275

On peut regarder comme certain que la vaste étendue de la concession renferme beaucoup d'autres filons, et il en est probablement qui ont été aussi anciennement l'objet de travaux inconnus aujourd'hui ; on connaît les traces de plusieurs d'entre eux. L'éloignement des principales voies de communication et l'absence de chemins a été pendant longtemps, pour cette exploitation, un obstacle des plus graves à surmonter.

Valleraugue. — Genssane signale plusieurs filons dans les environs, et on en voit sur les versants nord de l'Hespérou.

Gisements de cuivre. — M. Lan, dans son travail sur les mines de la Lozère, cite une zone cuivreuse existant dans les terrains anciens et courant N. O. S. E. de *Saumane* (arrondissement du Vigan) aux hameaux de *Grosille*, *Cade* et *Caderle*, situés entre Saint-Jean-du-Gard et La Salle. Entre ces trois hameaux, il existe plusieurs filons de pyrite cuivreuse, associée à quelques pyrites de fer, pyrites arsénicales avec quartz et feldspath.

Direction générale : N. 40 O.

Inclinaison : O. S. O.

Puissance variable : 0,40 à 0,80.

Je ne pense pas que jusqu'à 1872 on y ait fait aucun travail, mais quelques recherches presque insignifiantes avaient été commencées, et on y découvrit de très-beau minerai. Le manque de capitaux entrava le développement de cette exploitation.

Près de *Valmy* et de *Saumane :* filons qu'on a explorés comme mines de fer carbonaté, mais qui paraissent devoir devenir éminemment cuivreux en profondeur.

Près du hameau de *la Valmy*, au *Bec de Ja :* puissant filon de fer carbonaté avec fer oxydulé et pyrite cuivreuse.

Puissance : 8 à 10 mètres. Gangue quartzeuse.

Mines de Saint-Laurent-le-Minier. — Le nom seul de ce pays indique l'existence de travaux anciens; c'est, en effet, ce que l'on reconnaît bientôt quand on parcourt les vallons au milieu desquels il est situé.

Le village de Saint-Laurent est situé à peu de distance de Ganges, sur l'un des torrents tributaires de la Vis; il se trouve entouré de hautes montagnes qui le séparent du Vigan, et sur lesquelles sont les plateaux des Causses.

Il repose sur les schistes siluriens qui acquièrent un très-puissant développement et que recouvrent, des deux côtés de la vallée, des calcaires métamorphiques et jurassiques.

Ces terrains sont sillonnés par des veines et des filons, et l'on voit partout, sur les flancs ou sur les hauteurs des montagnes, jusqu'auprès de Saint-Laurent, dans les schistes ou dans les calcaires, à Saint-Bresson, sur la montagne d'Ajau, et dans beaucoup d'autres endroits, d'immenses amas de déblais et des galeries ou des puits encore béants et pleins d'eau, desquels on tirait le plomb, le cuivre et l'argent.

Nous avons eu occasion d'y voir le cuivre gris en veinules dans le calcaire métamorphique, des filons barytiques quartzeux et ocreux au milieu des schistes, et la seule vue de ces filons était de nature à faire naître l'idée des richesses métallifères que peuvent renfermer ces montagnes.

D'après les anciens minéralogistes, les mines de Ganges, c'est-à-dire les mines de Saint-Laurent, étaient travaillées dans le quatorzième siècle. Dans les comptes de la sénéchaussée de Beaucaire, on voyait qu'en 1349 on avait trouvé, auprès de Ganges, des mines d'or, d'argent et autres métaux; des documents trouvés encore aux archives de Nîmes ont appris qu'elles étaient en pleine activité au temps de Philippe le Bel, dans le treizième et pendant le seizième siècle. L'explosion des guerres religieuses qui dévastèrent les Cévennes en déterminèrent probablement l'abandon.

Depuis cette époque, elles étaient restées dans un oubli complet, lorsque, dans ces dernières années, un explorateur se livra spécialement à leur étude. Déjà on avait recherché les minerais de fer qui apparaissent à la surface, et un petit haut fourneau d'essai, que l'on voit sur les bords de la Vis et de la route de Saint-Laurent à Ganges, avait été construit; mais ces recherches s'étaient arrêtées là. Bientôt, considérant ces montagnes à un autre point de vue, on reconnut que les anciens n'avaient pas tiré parti d'un riche minerai, la *calamine,* qu'on y trouve en abondance et qui forme aujourd'hui, dans ces lieux, l'objet d'une exploitation importante.

Entre Saint-Laurent et Saint-Julien, dans la section des Avinières, on a reconnu, en effet, un gîte calaminaire formant un amas lenticulaire de 100 mètres sur 200 à 250 mètres de longueur, avec deux puissants filons de minerai de fer, quelquefois aussi, riches en calamine, et dirigés à peu près du nord au sud.

On est entré dans les anciens travaux ouverts pour l'exploitation du minerai de plomb, et on y a reconnu l'existence intacte du minerai de zinc, plusieurs filets de plomb et de blende, et au *Col de Panis*, quelques affleurements de cuivre, qui, en 1872, ne paraissaient pas encore avoir été étudiés.

Sur la montagne d'Ajau, presque au contact des schistes, on voit des travaux anciens très-étendus qui paraissent constater une grande richesse de minerai de plomb.

De grands travaux sont aujourd'hui, 1873, en exécution aux Avinières, les minerais extraits descendent, par un plan incliné, jusqu'au bord de la Vis, où se trouve un four de calcination, et on les dépose sous le hangar autrefois établi pour le service du haut fourneau, dont j'ai parlé plus haut.

Les calamines des Avinières ont un aspect très-concrétionné, blanchâtre ou rouge clair, tacheté de blanc. Les plus riches contiennent jusqu'à 46 pour 100 de zinc avant la calcination. Au Mas-de-Coquet, la calamine est plus cristalline, plus concrétionnée et plus dure qu'aux Avinières. La gangue dominante est le sulfate de baryte.

Du côté de Saint-Julien, où des gîtes ont été également reconnus, les minerais sont plombeux et blendeux, et le plomb semble devoir remplacer la blende dans la profondeur.

En résumé, les détails incomplets que nous venons de donner, et que nous devons aussi en partie à M. l'ingénieur Bancilhon, suffisent pour faire voir que cette partie du département du Gard et les montagnes qui s'y rattachent sont éminemment métallifères. Il y a peu d'années, on n'aurait jamais soupçonné l'existence des richesses qu'on y rencontre aujourd'hui.

Tout concourt au développement de l'industrie minérale dans ces contrées, car on y trouve l'eau nécessaire et les transports faciles par le voisinage des routes et des chemins de fer.

Montdardier, aux environs de Saint-Laurent. — On signale à Montdardier l'existence de filons quartzeux et cuivreux, importants par leur puissance et les colorations vertes qui les recouvrent.

Gisements pyriteux. — Ces mines, connues depuis les temps les plus anciens, dans le département du Gard, particulièrement exploitées en quelques points, comme à Saint-Julien, depuis la moitié du dix-huitième siècle, appartiennent à une série de gisements de pyrites de fer, tantôt en

masses compactes très-puissantes, tantôt en filons développés; tantôt en rognons disséminés dans le minerai de fer, situés sur une ligne N. E. S. O., qui, commençant à Pallières, au delà d'Anduze; passe à Saint-Jean-du-Pin, Alais, Saint-Julien-de-Valgalgues, Saint-Florent, et se poursuit beaucoup plus loin jusqu' dans le département de l'Ardèche. Comme les gîtes plombeux et en couches, que nous avons vus aux environs d'Anduze, et auxquels ils sont reliés d'une manière intime, ils sont recouverts à la surface par un puissant chapeau de fer constituant, dans certains endroits, des amas considérables de minerais de fer hydroxydé.

A Saint-Julien-de-Valgalgues, l'un des plus importants d'entre eux; la pyrite de fer se trouve, d'après M. l'ingénieur Ricqlès[1], dans l'étage oolitique inférieur, au contact du calcaire à encrines, entre l'oolite moyen et le trias.

Au *Soulier*, elle est dans le trias, et vers *Saint-Jean-du-Pin*; on l'exploite dans le terrain jurassique.

Nous ne nous étendrons pas sur les diverses questions scientifiques que peut faire naître l'examen de ces gîtes, quelque intéressantes qu'elles soient, et nous nous bornerons à dire que l'exploitation de la pyrite y a pris un développement considérable; son usage est de plus en plus répandu dans les usines à soude du midi de la France. En 1869, le Gard seul en fournissait environ 40,000 tonnes, savoir :

Saint-Julien de Valgalgues	11,223
Le Soulier	13,913
Saint-Félix	1,719
Panissières	5,400
Saint-Florent	1,200
Valleraugue (arrondissement du Vigan)	4,393
Paillières, id.	1,202
Total	39,050

Mines d'antimoine. — Pendant ces dernières années, aucune d'elles n'était en exploitation. Leur production y a varié, comme dans bien d'autres localités, suivant les prix du métal et suivant les convenances. Dans les concessions du Gard, l'antimoine est en filons semblables à ceux de la Lozère. On en connaît aussi aux environs de Peyremale qui appartiennent au même système que ceux de *Saint-Michel-de-Dèze* et de *Malbosc*, à peu de distance au delà de la Cèze, dans l'Ardèche.

En résumé, malgré l'imperfection des notes que nous avons réunies, on peut reconnaître que le département du Gard, si renommé déjà par la richesse des houillères de la Grand'-Combe et de Saint-Ambroix, ou par l'importance de ses usines à Bességes, à Alais, à Salendres, etc., ne paraît pas être moins bien favorisé au point de vue des substances miné-

1. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale.*

rales répandues dans ses montagnes. Le plomb, le cuivre et l'argent y ont été, anciennement, l'objet d'exploitations considérables; quelques-unes de ces exploitations se révèlent à nos yeux par l'existence de nombreux déblais amassés sur les coteaux, ou par des excavations encore béantes; d'autres nous sont probablement totalement inconnues, comme l'étaient encore en 1775 celles que trouva de Genssane à Saint-Sauveur, et depuis environ trois siècles il n'a été fait que des efforts bien minimes pour les rechercher ou en apprécier la valeur. Nous ne redirons pas ce que nous avons déjà eu occasion de dire bien des fois, mais, tout en admettant la probabilité de l'existence de gisements métallifères exploitables en dehors des travaux anciens, nous croyons que c'est encore au-dessous de ces derniers qu'on trouvera les conditions les plus favorables. D'un autre côté, cette remarquable zone triasique qui fait, en quelque sorte, le tour du plateau central et se poursuit dans le nord, au travers de l'Ardèche, en présentant des accumulations de minerais divers, y acquiert un grand développement, et elle renferme encore probablement bien des richesses ignorées ou à peine soupçonnées.

VIVARAIS. — **Département de l'Ardèche.**

Le Vivarais, pays des Helviens aux temps gaulois, a fait longtemps partie de la province du Languedoc et, au moyen âge, les évêques de Viviers en étaient les puissants seigneurs. Profondément accidenté, ce pays présente une chaîne granitique et gneissique, aux cimes élevées, courant du S.-O. au N.-E.[1], qui, commençant près de Saint-Laurent-les-Bains, à la montagne d'Espervelouze, passant par les hauteurs du Tanargue et s'étendant jusqu'au mont Pilat, forme sa limite du côté de la Haute-Loire et le relie aux montagnes cristallines et schisteuses de la Loire, de la Lozère et du Gard. Les roches qui en constituent l'ensemble se développent souterrainement au-dessous des calcaires secondaires qui recouvrent la plus grande étendue du département au sud-est, et elles en forment presque entièrement la partie septentrionale; depuis les environs de Beauchastel jusqu'à la limite de celui de la Loire.

Nous y voyons encore un développement considérable de roches volcaniques, de phonolites et de basaltes, qui ont donné à ces contrées leur dernier relief. Ces roches forment deux chaînes qui recoupent perpendiculairement la chaîne granitique. Elles surgissent du sein des granites et jettent de puissantes ramifications au travers des formations secondaires qui les entourent.

Au milieu de ces dernières, nous retrouvons la bande triasique métallifère que nous avons vue dans le Gard. Elle passe aux Vans, à Largen-

1. *Carte géologique de l'Ardèche*, par M. Dalmas.

tière, à Aubenas, pour se poursuivre plus loin vers le nord, et plusieurs de ses lambeaux, restes des dénudations qu'elle a subies, se montrent près des granites en plusieurs points et jusque sur les derniers contreforts de la Lozère.

C'est principalement dans le trias et dans les montagnes granitiques et gneissiques dont nous venons de parler que se présentent les substances métalliques autres que le fer. Ces dernières, où l'on peut voir les granites porphyroïdes, les pegmatites, les fraidonites et les porphyres, qui percent au travers des gneiss et des micaschistes, sont encore sillonnées par de nombreux filons quartzeux et barytiques. L'ensemble de toutes ces roches, la présence de nombreuses sources thermales et le voisinage des basaltes, donnent l'idée des réactions souterraines qui ont dû se passer dans ces contrées et y favoriser, jusqu'aux époques géologiques récentes, l'accumulation et la concentration des substances métalliques.

Principaux gisements connus dans le département :

La Combe-Broussin, plomb. Anciens travaux.
Talencieux et *Ardoix*, plomb. Concession de 1867. — 2,646 hectares.
Jaujac, plomb et argent.
Largentière, plomb et argent.
Larouvière, plomb et argent.
Montselgue, plomb et argent.
Sainte-Marguerite, plomb et argent.
Thines, plomb et argent.
Mayres, plomb et argent.
Saint-André-Lachamp, calamine.
Soyons, pyrite de fer. Concession de 1855. — 950 hectares.
Veyras, pyrite de fer.
Les Vans, pyrite de fer.
Malbosc, antimoine. Concession de 1816-1840.

Mines de la Combe-Broussin. — Ces mines, situées au nord du département, au milieu des granites et des schistes, sur lesquelles on trouve des détails dans l'ouvrage de M. Gruner[1], étaient connues depuis longtemps et exploitées superficiellement pour l'extraction du *vernis*. Dans le siècle dernier, elles faisaient partie de la concession des Blumenstein dont le centre était, non loin de là, à Saint-Julien-Molin-Molette, ainsi que nous l'avons vu en parlant du département de la Loire, et qui comprenait aussi les gisements de Talencieux.

A la Combe-Broussin, chaîne granitique qui court dans la direction N. E.-S. O., on connaît 12 ou 15 filons, tous plus ou moins fouillés par les anciens près du jour, dont le caractère principal est de ne présenter

1. *Description géologique de la Loire*, par Grüner.

que des galènes pauvres en argent et de montrer, comme la plupart des filons plombeux du Vivarais, une grande abondance de blendes et de pyrites.

Parmi ces filons, nous citerons les filons principaux :

Grand filon d'*Etheize*. — Situé près du village de ce nom, à 3 kilomètres du bourg de Saint-Julien. Travaillé, pendant quelques années et à diverses reprises, par Blumenstein depuis 1729.

Direction : N. O.-S. E.

Puissance : 0,30.

Gangue : quartz avec spath fluor. Blende et pyrites rares.

Ce filon paraît être la suite du filon de *Revoin* qui en est distant de 1,200 mètres. Il a été travaillé avec quelque avantage.

Filon de *la Raze*. — Près du village d'Étheize. Découvert en 1754. Il est un de ceux qui, dans le dix-huitième siècle, ont été exploités avec le plus de profit autour de Saint-Julien. On y travaillait encore en 1809.

Direction : h. 10 1/4, environ N. O.-S. E.

Puissance : 0,20.

Minerai : la blende et la pyrite sont abondantes dans les parties supérieures. La galène s'est montrée dans la profondeur en colonnes et sur une épaisseur générale de 0,105. Elle existait partout, dans les fonds, au moment de l'abandon.

Filon de *Broussin*. — C'est le plus important de cette contrée. Il court du hameau le Châtaigner au domaine de Pierre-Froide. Les travaux y furent commencés en 1740; ils furent maintenus en activité pendant près de soixante-dix ans. En 1808, il était abandonné. Il est encaissé dans un granite schisteux.

Direction : h. 8 1/2, environ N. O.-S. E.

Puissance : variable, 0,33 à 1 mètre.

Gangue : quartz associé à la baryte sulfatée, surtout dans les parties stériles. Blende abondante et quelquefois pyrites de fer et de cuivre. Spath fluor. Dans certaines parties stériles, on trouve aussi des terres jaunes et pesantes qui peuvent être du carbonate de plomb.

Minerai : galène tenant 30 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb. Elle se présente en colonnes. Dans une longueur de filon de 500 mètres, on trouva quatre colonnes de 24 mètres environ chacune de largeur.

De Genssane, qui visita cette mine pendant qu'elle était en activité, dit y avoir vu du minerai pur sur 4 pieds de largeur.

Dans ce même district, on voit les filons suivants :

Filon de *Pierre-Froide*. — Près de Broussin. Fouillé anciennement.

Filon de *Combe-Aymar*. — Près du filon d'Étheize. Puissant. Paraît peu riche. Exploré dans le dix-huitième siècle.

Filon de *la Combe*. — Peu de minerai.

Filons du *Grand* et du *Petit-Lambois*. — Fouillés par les anciens. Poursuivis sur 300 mètres par Blumenstein.

Filons de *Besson*, de *Riaux*, de *Vignat*, des *Costes*, de *Chante-Cocu*. — Ce dernier est formé par un quartz ferrugineux.

Filon de *Lavaud*, commune de *Vincieux*. — Exploité anciennement pour alquifoux. Attaqué en 1734 par Blumenstein. L'exploitation y fut momentanément prospère. Blende abondante.

Filon de *Soullier*, commune de *Savas*. — Exploré par Blumenstein, qui en exploita encore plusieurs autres dans les communes de *Félines*, *Peaugre*, *Vernosc* et *Talencieux*.

Aujourd'hui, en 1872, les voies de communication se multiplient dans ces contrées, un chemin de fer pénètre dans ces montagnes du Rhône à Annonay, et si beaucoup de ces filons ne peuvent être exploités à cause de leur peu d'épaisseur ou du peu de minerai qu'ils renferment, il en est cependant, comme celui de Broussin, ou ceux dans lesquels la blende abonde, qui pourraient sortir avantageusement de l'état de délaissement dans lequel ils ont été laissés presque constamment, depuis le dix-huitième siècle jusqu'à ce jour.

Mines de Talencieux. — Dans la concession de ce nom, on connaît au moins dix-huit filons formant deux systèmes se croisant à angle droit, et marchant à peu près dans la direction N. O.-S. E. et N. E.-S. O. L'un de ces deux systèmes se poursuit, de l'autre côté du Rhône, vers *Poisas*, *Servas*, etc. Tous ces filons sont enclavés dans le granite et les gneiss.

Filon de *Balais*. — Parmi ces filons, celui de *Balais*, connu sur plus de 3 kilomètres, près de *Talencieux*, a été l'objet de travaux assez étendus ouverts par Blumenstein en 1736. Ces travaux furent poursuivis jusqu'en 1794, et il y avait encore quelques ouvriers en 1803.

Direction : N. O.-S. É.

Puissance : le filon est généralement double. L'une de ses parties se compose de quartz dur rougeâtre, souvent stérile, ayant 0,58 à 0,60 d'épaisseur. L'autre renferme de la baryte sulfatée avec un peu de quartz blanc, de la blende et de la galène irrégulièrement disséminées[1].

Dans le dix-huitième siècle, ce filon fut poursuivi sur au moins 800 mètres.

1. Gruner. *Description de la Loire*.

Minerai : la galène est uniformément répandue dans la masse entière du filon.

Les minerais des recherches d'Ardoix et de Talencieux, provenant d'un puissant filon dans le granite, analysés au Bureau des mines d'Alais[1], ont donné :

Plomb	63,70,	argent	19	grammes aux 100 kilos de	plomb.
—	61,20	—	12		—
—	54,96	—	16		—

Dans ces dernières années, des travaux assez étendus ont été poursuivis, auprès de *Balais*, sur la rive gauche de la Cance. L'abatage de massifs minéralisés y avait été préparé, mais malheureusement ils n'offraient qu'une faible teneur en argent.

Une laverie et une fonderie ont été installées par les concessionnaires non loin de Talencieux, près des bords du Rhône, et en face de Saint-Vallier, à Sarras.

Saint-Barthélemy-le-Plein. — De nombreux filons se montrent encore aux environs de Tournon, et on y remarque plusieurs groupes de filons qui se croisent. Des recherches ont été ouvertes sur l'un d'eux.

Javjac. — Filons plombeux près du pays de ce nom, dans les gneiss que recouvrent non loin d'eux les basaltes. On peut suivre leur trace sur d'assez grandes distances. Je ne crois pas qu'ils aient été l'objet d'aucun travail sérieux.

Largentière. — Le nom de ce pays, l'une des sous-préfectures du département de l'Ardèche, indique qu'il fut autrefois le siége d'une exploitation argentifère. Des deux côtés de la vallée de la Ligne, on voit les entrées de nombreuses galeries et de puits, et lorsqu'on monte par le coteau qui domine le tribunal de Largentière, on trouve des masses considérables de déblais, vernies encore par le feu dont on se servait pour l'exploitation dans les temps anciens.

Historique. — Les travaux, qui paraissent fort étendus, remontent à une époque fort ancienne. Suivant toute probabilité, ils étaient en activité pendant l'occupation romaine, et on voit encore un bas-relief représentant des ouvriers, vêtus d'un costume gallo-romain, forgeant des lingots, qui semble se rapporter à cette époque. Il est certain que ces mines furent travaillées pendant le moyen âge, comme la plupart des mines de France et de l'Europe pour la recherche de l'argent, et les comtes de Toulouse soutinrent des discussions avec les évêques de Viviers pour le prélèvement des droits qu'ils pouvaient y prélever.

1. Ledoux. *Annales des Mines*, 1866, t. X.

Ainsi, nous voyons dans les anciens minéralogistes qu'en 1193 le comte de Toulouse renonce aux droits qu'il avait sur les mines de Largentière (Vivarais). En 1198, accord entre lui et l'évêque de Viviers et autres... 1210, nouvelle confirmation de cet accord.

Le droit prélevé était de 6 deniers par marc d'argent.

Le prix de la livre, au commencement du douzième siècle, étant, poids pour poids, de 18f,20 de notre monnaie actuelle, abstraction faite du pouvoir de l'argent, le prix du marc étant alors de 2 livres 13 sous, ou environ 48 fr. 20 calculés de la même manière, on voit que, dans ce cas, les évêques de Viviers prélevaient à peine 1 pour 100.

On ne connaît pas, je crois, les causes et l'époque de l'abandon des mines de Largentière, qui paraissent être restées oubliées et inactives pendant des siècles depuis le moyen âge; mais, quand on voit la forme des travaux, quand on se rappelle que l'abatage se faisait au moyen du feu et nécessitait un aérage beaucoup plus parfait que ceux que réclament les travaux de nos jours, on peut croire que les difficultés s'accroissant avec le développement de l'exploitation, purent déterminer l'abandon de ces mines qui, dans tous les cas, durent être suspendues à l'époque des conflagrations religieuses, comme le furent, à ce moment, un grand nombre des exploitations de ces contrées du midi de la France, par suite des mêmes causes.

Gisement. — Il consiste principalement en deux couches métallifères de grès blanchâtre et bleuâtre très-siliceux, ayant quelquefois l'apparence du jaspe, et dans lesquelles est disséminé le minerai de plomb argentifère, consistant en galène à grains fins.

Ces couches ont une grande puissance, et la plus basse a généralement une épaisseur de 2 mètres. Elles appartiennent au trias qui s'appuie directement sur les roches schisteuses anciennes dont est formée la partie montagneuse qui domine le pays de Largentière.

La galène est plus ou moins répandue dans ces couches, en grains, en amas et en veines, et on y rencontre par conséquent des parties très-riches, des parties pauvres et d'autres complétement stériles. D'après les observations de M. l'ingénieur Ledoux, elle semble se présenter plus particulièrement dans des veines dirigées sur l'h. 5. On y trouve aussi la blende, mais placée ordinairement au-dessus des couches de galène.

Ces minerais sont riches en argent. Leur teneur varie de 200 à 600 grammes aux 100 kilos de plomb d'œuvre.

Analysés au Bureau des mines d'Alais, ils ont donné 448, 378, 228 et 200 grammes aux 100 kilos de plomb.

Ces mines ont été reprises dans ces dernières années, et tout ce qu'on y voit tend à faire croire que le gisement y possède une très-grande extension que les anciens n'ont pas entièrement parcourue et qu'il y reste

encore des quantités considérables de minerai que les moyens puissants actuels pourront, sans doute, permettre d'extraire avec avantage.

Vallée du Chassezac. — Depuis quelques années, des travaux assez nombreux ont été entrepris dans la vallée du Chassezac, qui sépare le département du Gard de celui de l'Ardèche, aux environs de Villefort. Cette vallée renferme un grand nombre d'anciens ouvrages d'où l'on extrayait principalement du plomb et de l'argent, et on voit encore aujourd'hui leurs traces en beaucoup d'endroits. Les filons que l'on y travaillait appartiennent aux mêmes systèmes que ceux de Villefort, ou ceux qui se montrent sur les versants de la Lozère.

En 1870, des travaux importants étaient en cours d'exécution, aux environs de Sainte-Marguerite.

Larouvière. — Cette mine, après avoir été travaillée anciennement, fut reprise, vers la fin du siècle dernier, par la Compagnie de Vialas, et on y trouva, à cette époque, des travaux considérables en galeries et en kastes. De 1780 à 1792, on en retira de grandes quantités de minerais qu'on transportait à Villefort au prix de 1f,20 les 100 kilos, après les avoir préparés et lavés sur place. Le défaut de bras en détermina l'abandon au moment des guerres de la Révolution.

D'autres filons, travaillés aussi anciennement, se montrent encore aux environs, et aujourd'hui, en 1872, on pousse activement les recherches sur les deux rives du Chassezac, dans l'Ardèche comme dans le Gard.

D'après M. de Malbos[1], on voit à *Saint-Laurent* un filon de plus de 1 mètre de chaux fluatée.

Près de Thines, à *Peyre*, comme à *Saint-Laurent* et à *Lagarde*, on voit dans le gneiss des filons puissants de sulfate de baryte.

Mayres. — En parlant de ce pays, de Genssane écrivit : « Il y a peu de « contrées dans le Languedoc où il y ait autant de minéraux que le long « de la vallée de Mayres (vallée de l'Ardèche), surtout aux montagnes « qui sont au midi de cette vallée. On commence à les apercevoir auprès « de la Narce, village situé sur la montagne du côté de la Chavade. On « en voit de nombreux indices près des *Astels* et au pied du village de « *Mayres*. On remarque encore, dit-il, des travaux romains près le vil- « lage *Saint-Martin*, sur trois grosses veines de plomb et argent parse- « mées de quelques grains d'antimoine. On pourra retirer un très-grand « avantage des mines de *Mayres* parce que les eaux sont abondantes et « commodes, et l'exploitation en deviendra facile par le voisinage des « charbons de terre de Jaujac et de Prades. »

Le quartier de Larouvière, qui est l'objet d'une demande en concession

1. *Bulletin de la Société géologique de France*, t. X.

sur les communes de Sainte-Marguerite, la Figère, etc., possède quatre à cinq filons plus ou moins minéralisés, et entre autres le prolongement du grand filon des *Issarts* qui traverse la concession de Malons. Ce filon a été attaqué à plusieurs niveaux.

Montselgues. — Des filons importants sont aujourd'hui explorés au quartier du *Vert*, commune de Montselgues. On en compte une vingtaine variant de puissance de 0,05 à 0,80, et l'un d'eux atteint jusqu'à 5 mètres. Quatre de ces filons ont fourni jusqu'à présent d'excellents résultats. Ce sont :

1° Le filon du Sud, dirigé sur.	h. 2 à 3.
2° Filon Riche, dirigé sur.	h. 5
3° Filon des Anciens, dirigé sur.	h. 3 à 4
4° Filon du Nord, dirigé sur..	h. 2 à 3.

Les autres filons courent dans les directions h. 4 et 5 et h. 8 à 10.

Les minerais analysés ont produit :

	Plomb.	Argent.	
Filon du Sud.	53	84	grammes aux 100 kil. de plomb.
Filon Riche.	62	62	—
	52	115	—
Filon des Anciens.	53	34	—
Filon du Nord..	51	94	—

Dans le quartier de *Chamies*, commune de Montselgues, se trouvent encore d'autres filons travaillés anciennement.

Thines. — On y connaît une dizaine de filons dont quelques-uns ne présentent pas de minerai à la surface. Dans les environs, on peut voir, au *Coulet*, une grande crête quartzeuse, d'apparence stérile, contenant un peu de baryte, courant, sur 2,500 mètres environ, dans une direction rapprochée de h. 8.

Près du village, un filon de 2 mètres à 2^{m},50 de puissance, visible sur une longueur de 7 à 8 kilomètres, exploité par les anciens. On trouve encore, dans les environs, des scories provenant de la fonte des minerais.

La direction des filons de Thines est généralement de h. 8 à 9.

Les minerais ont donné 225 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Les nombreux anciens travaux que l'on rencontre dans cette partie du versant du Chassezac paraissent devoir remonter au moyen âge, et la richesse qui vient d'y être reconnue permet de croire qu'on aura bientôt dans ces contrées un nouveau centre d'abondante production métallique.

De Genssane cite encore *Chayla*, que nous n'avons pas retrouvé, comme

ayant plusieurs filons de plomb et cuivre, et un, entre autres, au bas du château de la Chaise.

Saint-André-Lachamp, zinc. — Dans cette commune, à l'Esplanelle, on remarque un gîte de *calamine*. Elle se trouve dans des veinules traversant un banc dolomitique d'environ 3 mètres de puissance, et pénétrant surtout la partie inférieure de ce banc. Les marnes schisteuses qui se montrent au mur contiennent de la blende, de la galène et de la pyrite de fer. Ce gisement a été signalé par M. Ledoux, ingénieur des mines, et il paraît offrir un très-grand intérêt; il est aujourd'hui (1873) l'objet d'explorations importantes.

Mine de Malbosc, antimoine. — On y connaît plusieurs filons encaissés dans le micaschiste. Gangue essentiellement quartzeuse avec un peu de chaux carbonatée et de baryte.

Direction : E.-O.

L'antimoine s'y présente en veines massives qui ont quelquefois 0,08 et même 0,30 d'épaisseur.

Ces mines ont été travaillées très-anciennement, ainsi que l'attestent les nombreux amas de scories disséminées autour d'elles. Elles ont été reprises et abandonnées à diverses époques et particulièrement dans le cours du siècle actuel. Les minerais étaient traités au four d'Abo, non loin de là, sur l'un des affluents de la Cèze.

On en a extrait des quantités considérables d'antimoine, et c'est assurément l'une des mines de ce métal les plus remarquables de celles de la France; d'après de Genssane les antimoines de Malbosc sont argentifères; on retrouve l'argent dans les scories anciennes.

Soyons. — Gisement de *pyrite de fer*, situé près des bords du Rhône et en exploitation, dans un banc dolomitique.

Veyras. — M. Ledoux a signalé un banc analogue auprès de Veyras, non concédé en 1868, qui se trouvait, comme celui de Soyons, dans la même position géologique que les couches de minerai de fer de Saint-Florent, de Bordezac et du Travers dans le Gard, et forme avec eux un remarquable horizon métallifère.

Enfin, les gneiss et les micaschistes de l'Ardèche renferment une grande quantité de filons : il est probable que la plupart d'entre eux n'ont encore été l'objet que d'études ou de recherches très-peu étendues, et ils ne sont restés inactifs pendant la presque totalité du siècle actuel que par suite de la difficulté des transports et peut-être aussi par l'incurie générale pour cette branche intéressante de l'industrie minérale.

Rouergue. — Département de l'Aveyron.

Ce département, dont l'étendue appartenait à cette partie de la France que l'on appelait autrefois et qu'on appelle encore aujourd'hui le *Rouergue*, est connu depuis un temps immémorial comme renfermant une quantité considérable de dépôts métallifères. Il était célèbre au temps des Gaulois, et les *Ruthènes* qui l'habitaient trouvaient dans les mines une de leurs principales industries. « *In Ruthenis argentariæ vigent artes*, » a dit Strabon, et Tacite rappelle l'importance et la richesse des mines de ces contrées qui, sous le règne de Tibère, enrichissaient les habitants du pays et excitaient la cupidité des gouverneurs de la province[1].

Dans les déblais des mines anciennes, on a trouvé des objets romains qui y constatent encore l'existence de l'industrie minérale dans ces temps reculés.

Ces mines furent donc travaillées pendant les périodes gauloise et romaine; mais c'est surtout à partir du dixième jusqu'au seizième siècle qu'elles paraissent avoir été l'objet d'une exploitation active. Les seigneurs du moyen âge y prélevaient des bénéfices importants, et les anciens minéralogistes nous apprennent qu'en 1262 il y eut un procès entre Alphonse, comte de Toulouse, et Hugues, comte de Rodez, jusqu'en 1264, au sujet d'une mine d'argent trouvée à Orzals.

Une lettre de Philippe le Bel[2] écrite à son sénéchal de Rouergue en 1298 nous montre encore qu'elles étaient en activité à cette époque.

En 1371, Villefranche eut le privilége d'un hôtel des monnaies, « en considération de la commodité des mines d'argent et de cuivre qui avaient été découvertes aux environs. »

En 1431, la Monnaie fut rétablie par déclaration royale, « en considération des mines d'argent qui étaient aux environs de la ville et du profit qu'on retirait du travail d'icelles. »

Plus tard, François Ier, en 1519, autorisait le sieur de Capdenac à exploiter les mines de sa seigneurie.

Les souvenirs locaux rappellent encore qu'elles furent travaillées pendant l'occupation anglaise, mais elles durent subir toutes les péripéties qu'engendra l'explosion des guerres religieuses, et, en 1572, les massacres de la Saint-Barthélemy vinrent probablement fermer la dernière exploitation.

Pendant cette période, l'industrie du cuivre et de l'argent y était très-active. Villefranche et Rodez battaient monnaie avec l'argent des mines du Rouergue, et on comptait de nombreuses fabriques où l'on travaillait

1. *Description géologique de l'Aveyron*, 1872. Boisse.
2. Champollion Figeac. *Coutumes et usages*, etc.

le cuivre : l'industrie de la chaudronnerie, propre encore aujourd'hui à ces contrées, est une dernière manifestation des exploitations qui y régnaient autrefois.

Après 1572, l'industrie minérale fut pour ainsi dire anéantie. En 1649, on voulut rétablir la Monnaie de Villefranche, « mais cela manqua faute d'ouvriers[1]. »

Vers la fin du dix-septième siècle, des travaux furent ouverts à Najac et à Laguépie par ordre de Louis XIV; mais ces travaux, ouverts sur des mines nouvelles, n'étaient absolument rien en comparaison de ceux qu'y avaient établis les anciens, dont la grandeur est constatée à la surface du sol par l'étendue des haldes et des déblais, et qui restaient délaissés.

Enfin, toutes ces mines furent oubliées pendant près de trois siècles et presque jusqu'à nos jours.

En 1806, un ingénieur de l'État[2] chercha à appeler sur elles l'attention des industriels; c'est seulement depuis 1836 que l'on a commencé à s'en préoccuper, par suite des recherches historiques qu'avait faites, à cette époque, un juge de paix de Villefranche, M. Milhet.

De 1836 à 1843, des tentatives nombreuses ont été faites sur les filons de ces localités; mais tous ces travaux, sans tradition, disséminés sur un grand nombre de points, absorbèrent bientôt les capitaux, restreints d'ailleurs, dont on disposait. Établis dans les vieux ouvrages ou près des affleurements, ils ne parvinrent pas au-dessous des travaux anciens et n'enseignèrent que peu de chose.

Vers 1854 et dans les années suivantes, on fit de nouveaux essais; des ouvrages anciens furent déblayés, mais on ne parvint pas à de meilleurs résultats, et, de tous ces travaux, il n'est resté, dans tout le département, en 1870, qu'un seul filon en exploitation, celui de *Labaume*, près de Villefranche, sur lequel des forces suffisantes ont été concentrées. Ces travaux récents ont démontré :

1° Que la richesse métallique se poursuivait au-dessous des travaux anciens ;

2° Que cette richesse pouvait être extraite au-dessous du niveau des vallées.

L'auteur de la carte géologique de l'Aveyron, en constatant l'abandon presque total des mines de ce pays en 1870, se demande quelle a pu en être la cause :

« Les causes de l'abandon des mines, dit-il, sont le plus souvent com-
« plexes; mais il est une cause générale dont on ne peut méconnaître
« l'influence : c'est le changement survenu dans la valeur relative du
« numéraire et de la main-d'œuvre.

« Depuis le dix-septième siècle, le prix de la main-d'œuvre a plus

1. *Documents relatifs aux mines métallifères de l'Aveyron*, par M. de Seraincourt. 1847.
2. *Statistique minérale de l'Aveyron*, par M. Blavier.

« que décuplé. Or, ajoute-t-il, il est aisé de comprendre que l'exploita-
« tion d'une mine argentifere, par exemple, utile et fructueuse à une
« époque où la valeur de l'argent contenu dans un quintal de minerai
« représenterait le salaire de dix ouvriers, a pu devenir onéreuse lorsque
« la même quantité d'argent n'a plus représenté que le salaire d'un seul
« ouvrier. »

Cette opinion ainsi exprimée est généralement admise; mais, ainsi que nous l'avons dit ailleurs, elle nous paraît susceptible d'être modifiée.

Ce n'est pas là, ce nous semble, qu'est la véritable cause de la suspension et de l'oubli de tous ces travaux remarquables. En effet, si nous recherchons les prix de la main-d'œuvre à diverses époques, nous voyons qu'elle a singulièrement varié, ainsi que cela doit être, suivant l'accroissement ou la diminution des besoins.

Au moyen âge, pendant les douzième, treizième siècle, etc., grande époque d'activité et de travail, la main-d'œuvre était beaucoup plus élevée qu'on ne le suppose; mais, sans nous reporter si loin, au seizième siècle, au moment même où l'on reprenait les mines de l'Alsace et de la Franche-Comté, au moment où un grand nombre de mines anciennes étaient ouvertes de nouveau en Europe, où celles de l'Aveyron étaient en pleine activité, on payait, aux mineurs au jour (1563), d'après M. Mantellier, 1f,57 à 1f,89 par jour, poids pour poids de monnaie. Un surveillant de travaux se payait quelquefois, à cette époque, 3f,21, prix considéré également poids pour poids et abstraction faite du pouvoir de l'argent.

Ces prix ne sont donc pas bien éloignés de ceux que nous payons dans le dix-neuvième siècle, et le kilogramme d'argent n'avait pas lui-même une valeur bien différente de ce qu'elle est aujourd'hui et variait de 169 à 240 francs.

Pendant le dix-septième siècle, quand les mines de l'Aveyron étaient abandonnées, le prix de l'argent ne varia pas sensiblement, il fut de 206 à 207 fr. le kilogramme, et si nous nous en rapportons aux travaux si consciencieux de M. *Moreau de Jonnès*, nous voyons que cette époque correspondait au plus grand abaissement de la main-d'œuvre; le salaire du colon se trouvait considérablement réduit dans les contrées les plus prospères et ces temps d'immense misère, dont Vauban, dans la *Dixme royale*, nous a retracé le tableau, étaient la conséquence de l'absence du travail industriel que le génie de Colbert ranima dans quelques contrées seulement, et des famines périodiques qui frappaient tout à la fois le travailleur de la terre et l'artisan.

Ce n'est donc pas à l'accroissement de la main-d'œuvre qu'il faut attribuer le délaissement des mines à cette époque. Ce sont d'autres causes qui en déterminèrent l'abandon et l'oubli. Nous retrouverons facilement ces causes dans les conditions politiques et administratives du temps. Les mines n'étaient concédées qu'aux privilégiés et aux grands;

la tranquillité nécessaire au développement de l'industrie minérale fit souvent défaut dans cette partie de la France, et elle fut particulièrement troublée par la continuation des guerres religieuses jusqu'à la fin du dix-septième siècle. Ces troubles régnèrent pendant plus d'un siècle, c'est-à-dire pendant un laps de temps plus que suffisant pour faire oublier les industries passées et fermer les mines qui ne présentèrent bientôt plus qu'un amas de décombres, et exigèrent désormais des dépenses considérables pour retrouver leur ancienne activité.

D'ailleurs, la mine de Villefranche, où l'on a appliqué toute la persévérance désirable, nous donne la preuve que, si des différences de main-d'œuvre et de prix divers existent entre les temps actuels et les temps passés, ces différences sont compensées par les moyens que l'on possède aujourd'hui et que l'on ne possédait pas alors.

Enfin nous sommes de ceux qui pensent que celles des mines de l'Aveyron qui jadis ont été avantageusement exploitées se trouvent actuellement dans des conditions plus favorables que jamais pour fournir au dehors les richesses métalliques qu'elles renferment dans leur sein.

Si nous voulons donner une idée de l'orographie de l'Aveyron et de sa constitution géologique, nous ne pouvons mieux faire que de reproduire une partie de ce qui a été déjà dit à ce sujet dans l'*Annuaire* de 1835 et résumer les conclusions générales de l'auteur de la carte géologique de cette contrée :

« Bien que le département de l'Aveyron occupe un niveau généralement fort élevé, les hauteurs de ses principales régions présentent néanmoins d'assez grandes différences pour permettre de le diviser en haut et bas pays.

« Le haut pays dépend du vaste plateau de terrain ancien qui occupe le centre de la France et forme les montagnes du Limousin, de l'Auvergne, du Forez, du Cantal, de l'Ardèche et des Cévennes. Il constitue trois grandes parties montagneuses qui comprennent un peu plus de la moitié de la surface du département.

« La partie montagneuse du nord, comprise entre la rive droite du Lot et la limite septentrionale du département, présente une suite de montagnes sillonnées par des gorges profondes et sauvages. Ces montagnes qui se lient à celles du Cantal forment, en s'abaissant vers leur milieu, un plateau primitif assez vaste appelé *le Viadène*, lequel est dominé, au nord et à l'est, par les sommités volcaniques des environs du *Mur de Barrès*, *Cantoin*, *Lacalm*, *Laguiole* et *Saint-Chély*.

« La partie montagneuse du centre, entre la rive gauche de l'Aveyron et la rive droite du Tarn, se compose de différents plateaux placés pour ainsi dire au même niveau, séparés entre eux par un grand nombre de ruisseaux profondément encaissés et formés de roches schisteuses, granitiques et porphyriques.

« Enfin, la partie montagneuse du sud se lie aux montagnes de Lacaune, vaste assemblage de pics aigus dont elle forme le versant septentrional. Elle offre des chaînes élevées sillonnées par un grand nombre de gorges et de vallons, et composées de roches de transition, de nature schisteuse, grèseuse et calcaire. »

Le bas pays, beaucoup moins étendu, comprend le terrain houiller d'Aubin et de Decazeville, les grès et les marnes que l'on trouve entre Villecomtal, Rodez et Saint-Cyprien, comme entre Saint-Affrique et le pont de Camarès, et plusieurs plateaux calcaires possédant des dépôts abondants de minerais de fer.

Si l'on jette un coup d'œil sur la carte géologique de l'Aveyron, on voit que les granites, les gneiss, les schistes micacés et talqueux occupent la plus grande étendue du département; les terrains siluriens se montrent particulièrement au sud-est, sur le prolongement de ceux de même nature du Tarn et de l'Hérault qui constituent la masse des Montagnes-Noires et de Lacaune.

Ces terrains divers y sont traversés par des porphyres quartzifères, des eurites, des diorites, des amphibolites, des euphotides, des serpentines et des basaltes. Les porphyres quartzifères et euritiques, liés d'une manière si intime avec les productions métalliques, s'y montrent en une multitude de points, et les basaltes y forment d'immenses nappes qui se développent particulièrement sur les flancs granitiques et schisteux de la chaîne d'Aubrac.

Les gisements métallifères sont très-nombreux au sein de ces diverses roches, et, bien qu'ils se trouvent plus particulièrement groupés dans quelques districts privilégiés, ils existent dans toutes les parties du département et dans toutes les formations géologiques, depuis les plus anciennes jusques et y compris la formation jurassique[1]..

M. Boisse, qui a particulièrement étudié les filons de l'Aveyron, a reconnu que leur répartition et leur production se trouvaient subordonnées à certaines lois parmi lesquelles il cite, en première ligne, « les conditions de gisement, la position habituelle des filons métallifères sur le « pourtour des massifs granitiques, et leur liaison directe, immédiate, « avec les roches trappéennes qui forment, dans ces contrées, le cortége « ordinaire des granites; leur concentration dans certaines régions caractérisées par l'abondance de ces roches trappéennes, et plus particulièrement des serpentines, des amphibolites et des porphyres feldspathiques; leur tendance habituelle vers un petit nombre de directions préférées, presque toutes comprises entre *hora* 6 et *hora* 9; la « concordance qui existe entre les directions observées, d'une part, dans « les filons, d'autre part dans les principaux accidents géologiques, tels « que failles, dislocation des couches, etc.; la pénétration des filons dans

1. Boisse, p. 279.

« tous les terrains, jusqu'au terrain jurassique inclusivement; l'influence « de la roche encaissante sur la puissance et l'allure des gîtes. »

A ces lois générales, l'auteur de la carte géologique ajoute les observations suivantes qui offrent un grand intérêt au point de vue pratique, et dont l'ensemble s'accorde avec ce qui a été observé par d'autres géologues :

« Les filons cuprifères, dit M. Boisse, semblent se rattacher plus particulièrement aux serpentines ou aux amphibolites; ils admettent presque toujours, concurremment avec les matières cuivreuses, un grand nombre d'autres minerais métalliques.

« Les filons de plomb et de zinc, contenant peu ou point de cuivre, forment le cortége habituel des roches euritiques.

« Dans l'intérieur même des masses éruptives, les matières métalliques se trouvent assez souvent disséminées en grains, ou en minces veinules. Quand elles forment de véritables filons, ceux-ci sont habituellement dépourvus de gangues pierreuses.

« Il en est quelquefois de même dans les roches encaissantes, au voisinage immédiat des masses éruptives; mais ces gangues abondent et acquièrent une prépondérance décourageante à mesure qu'on s'éloigne des foyers d'éruption.

« La puissance, la continuité et la régularité des filons paraissent être en rapport avec la solidité de la roche encaissante.

« Les matières métalliques occupent généralement la partie centrale des filons.

« Rarement elles sont distribuées d'une manière uniforme dans toute son étendue; les portions riches paraissent former des amas allongés, disposés en colonnes parallèles, suivant la plus grande pente des filons.

« Dans la plupart des districts, l'abondance de la baryte sulfatée paraît être en raison inverse de la richesse métallique, surtout pour les minerais cuprifères.

« La gangue ordinaire des filons les plus riches est le quartz; mais, quand cette gangue forme des masses puissantes, homogènes, compactes dans toute l'épaisseur du filon, le minerai est rarement abondant. Le rubannement de la gangue, la présence de druses, sont habituellement des indices de fécondité.

« Enfin, on peut admettre avec certitude, dans le département :

« 1° La multiplicité des gîtes;

« 2° L'énergie, la continuité d'action, la généralité des causes génératrices;

« 3° La teneur métallique fort considérable de la plupart des minerais;

« 4° La richesse constatée de quelques filons;

« 5° L'analogie de presque tous ces filons entre eux;

« 6° Les rapports qui, sous le double point de vue de la composition et du gisement, existent entre les gîtes de l'Aveyron et ceux des régions métallifères les plus riches. »

Concessions métalliques à la fin de 1870 :

Négréfol (Rieupeyroux), plomb, 1827. Étendue 61 hectares. Inactive en 1870.

Labarre et *Corbières*, arrondissement de Saint-Affrique, aux limites de l'Hérault, cuivre, plomb, 1837. 2,580 hectares. Inactive en 1870.

Creissels, arrondissement de Milhau, cuivre, plomb, 1840. Inactive en 1870.

Du Minier, arrondissement de Milhau, cuivre, plomb, 1840. 856 hectares. Inactive en 1870.

Pichignet, arrondissement de Villefranche, cuivre et divers, 1841. 1,764 hectares. Inactive en 1870.

Villefranche, cuivre et divers, 1841. Extension en 1865. 3,820 hectares. Active.

Viala, arrondissement de Milhau, cuivre et divers, 1854. 1,884 hectares. Inactive en 1870.

Faveyrolles, arrondissement de Saint-Affrique, cuivre, 1854. 1,846 hectares. Inactive en 1870.

Camarès, arrondissement de Saint-Affrique, cuivre et divers, 1855. Inactive en 1870.

Brusque, arrondissement de Saint-Affrique, plomb, 1856. 505 hectares. Inactive en 1870.

Principaux gisements connus dans le département et tels qu'ils ont été indiqués par M. Boisse[1].

Nos	Désignation des filons	Nature des minerais.	Roche encaissante.	Observations.
		DISTRICT DE Najac.		
1.	Soulages et Pradines..	Galène, pyrite de cuivre, felspathique	Gneiss et sch. micacés.	Anciens travaux.
2.	La Sarrie et le Pontal.	Cuivre carbonaté........	Granite............	Id.
3.	La Planque, près la Bruguière.............	Id. et pyriteux.	Id............	Id.
4.	La Serène, au Piebignet	Id. pyriteux, galène, plomb carbonaté, blende, bournonite, fer carbonaté.	Gneiss et micaschistes..	Travaux modernes
5.	Filon Prox, id....	Pyrite de cuivre et de fer, galène felspathique.	Id..........	Id.
6.	— Jacques, id....	Id. plus rares....	Id..........	Id.
7.	— du Puits, id....	Id. plus rares....	Id..........	Id.
8.	Maillors...............	Pyrite de cuivre, bournonite, blende, felspathique abondant, gal. rare, malachite.	Diorite............	Id.
9.	Cassagnes...........	Felspathique, galène, pyrite de cuivre..........	Serpentine..........	Id.
10.	Ferraguse...........	Felspathique, pyrite de cuivre.	Mur de serpentine, toit de schistes micacés...	Id.
11.	La Croisille...........	Zinc carbonaté.	Calcaire de l'infralias..	Id.
12.	La Ba[illegible]it............	....	Gneiss et micaschistes..	Anciens travaux.
13.	La Bessière.	Cuivre pyriteux et métallique, phosphate de plomb, bournonite, galène, blende	Id..........	Id.
14.	Mas de Cadène.	Hématite.	Id..........	Id.
15.	Pont de la Frégeaire..	Pyrite de cuivre, plomb phosphaté et carbonaté..	Id..........	Id.
16.	L'Espanié...........	Cuivre carbonaté pyriteux, pl. phosphaté et carbonaté	Id..........	Id.
17.	Corbières...........	Galène, cuivre carbonaté..	Id..........	Id.
18.	Combettes...........	....	Id..........	Id.
19.	Falgayroles..........	Cuivre carbonaté, gris, pyrite de cuivre.	Id..........	Id.
20.	Sillors................	....	Id..........	Id.
21.	Couraux et la Feuillade	Manganèse oxydé et silicaté.	Gneiss, schiste et granite	Id.
22.	Long-Col.	....	Gneiss et schiste.	Id.
23.	Santou.	Pyrite de cuivre, cuivre carbonaté et silicaté.......	Lias, grès inférieurs..	Id.
		DISTRICT DE Villefranche.		
24.	Farayroles............	Plomb phosphaté........	Granite............	Anciens travaux.
25.	Les Oubax...........	Manganèse oxydé.	Id..........	Id.
26.	Testas-Veza.	Malachite...............	Granite et gneiss.....	Id.
27.	Le Perié.............	....	Id..........	Id.
28.	Les Millets...........	....	Gneiss.	Id.
29.	Laurière..............	Galène et peroxyde de manganèse.............	Granite............	Id.
30.	La Vergnole.........	Blende, plomb phosphaté..	Schistes et gneiss.....	Travaux modernes
31.	Cantagrel............	Bournonite, galène, blende, plomb phosphaté et carbonaté...............	Schistes et granite....	Anciens travaux

1. On trouvera tous ces filons sur les *Cartes* de M. Boisse, et un grand nombre d'entre eux dans l'*Essai* de M. Fournet, sur les mines de l'Aveyron.

DISTRICT DE **Villefranche** (*Suite*).

Nos	Désignation des filons	Nature des minerais.	Roche encaissante.	Observations.
32.	Mas-del-Puech........	Fer oxydulé et hydraté...	Eurites.............	Anciens travaux.
33.	Savança............	....	Granite.	Id.
34.	Borne n° 12..........	....	Id..........	Id.
35.	Le Cluzel.	Galène...............	Schistes et gneiss.....	Id.
36.	La Fage..............	....	Id..........	Id.
37.	Vialelles............	Galène argentifère.......	Granite............	Id.
38.	Gourniès............	Galène, nickel arsenical..	Schistes et gneiss.....	Id.
39.	Les Pesquiès.........	Galène, argent, pyrite de cuivre, blende, plomb phosphaté.	Schistes micacés.	Travaux modernes
40.	Déviation du même....	....	Schistes eurites......	Id.
41.	Borne n° 5...........	Plomb phosphaté........	Schistes et gneiss.....	Id.
42.	Autre du même lieu...	Pyrite arsénicale........	Id...........	Id.
43.	Maladrerie.	Galène, blende.	Schistes métamorphiques............	Anciens travaux.
44.	Autre du même lieu...	Id.............	Id.........	Id.
45.	Tournant de la Roque.	Hématite, galène, pyrite de cuivre, plomb phosphaté.	Id..........	Id.
46.	Peyremorte...........	Plomb phosphaté........	Id..........	Id.
47	Macarou.	Galène................	Id..........	Id.
48.	Combenègre..........	Fer oxydulé.	Schistes micacés, grenatifères.	Id.
49.	Saint-Jean (Calvaire)..	Galène..	Schistes et gneiss.....	Id.
50.	Bouscau.............	Id............	Schistes et eurites....	Id.
51.	La Baume, près Villefranche...........	Pl. argent, bournonite, etc.	Id.........	Id. et travaux actuels.
52.	Le Cros.............	Galène................	Id..	Anciens travaux.
53.	Belmont.............	Galène, oxydè de manganèse.	Gneiss et eurites.....	Id.
54.	Bieulaygues.........	....	Id..........	Id.
55.	Magnols.............	Pyrite de cuivre, galène, plomb carbonaté et phosphaté, fer carbonaté, manganèse oxydé.........	Granite et eurite.....	Id.
56.	La Treille...........	Galène, cuivre gris?.....	Id..........	Id.
57.	Mas de Bouyssou.	Galène, plomb carbonaté et phosphaté.	Micaschiste, porphyre.	Id.
58.	Campels............	Fer spathique, manganèse oxydé.	Schistes et porphyres..	Id.
59.	Cantelouve..........	....	Id..........	Id.
60.	Aymerits............	....	Id..........	Id.
61.	Phalips.............	Pyrite de cuivre, fer carbonaté..............	Id.	Travaux modernes
62.	Gaudiès............	Cuivre gris et pyriteux...	Id..........	Id.
63.	La Bessière.	Cuivre gris, pyriteux, blende, plomb, argent......	Id.	Anciens travaux.
64.	Vialardet............	Cuivregris, pyriteux, blende	Schistes et eurites....	Id.
65.	La Baume, près la Bastide.	Plomb, argent, plomb phosphaté, blende.........	Schistes micacés.	Id.
66.	Lasserres.	Pyrite de cuivre, cuivre carbonaté, galène......	Id..........	Id.
67.	Penevayre...........	Plomb, argent..........	Schistes et eurites....	Id.
68.	La Pale.............	Plomb, argent, cuivre gris.	Schistes micacés.	Id.
69.	Requiesta.	....	Id..........	Id.
70.	Lortal.	Fer hydraté, galène.....	Granite............	Id.
71.	Lesterie.............	....	Id..........	Id.
72.	Le Cayla............	....	Id..........	Id.

N°	Désignation des filons	Nature des minerais.	Roche encaissante.	Observations.
	DISTRICT DE Villefranche (*Suite*).			
73.	Vèze	Manganèse oxydé	Schistes et gneiss	Anciens travaux.
74.	Le Mas	Id.	Id.	Id.
75.	Négrefoil	Galène	Id.	Id.
76.	Vezis	Galène, pyrite de cuivre, plomb phosphaté	Schistes micacés	Id.
77.	Combret	Id.	Id.	Id.
78.	Bescous	Id.	Id.	Id.
79.	Peyrottes	Galène	Granite	Id.
80.	Mas del Sol	Id.	Id.	Id.
81.	Ploussergues	Id.	Id.	Id.
82.	La Grillere	Id.	Id.	Id.
83.	Le Guial	Id.	Id.	Id.
84.	Conte	Id.	Id.	Id.
85.	La Landelle	Id.	Id.	Id.
86.	Toulonjac	Id.	Terrain jurassique	Id.
	DISTRICT D'Asprières.			
87.	La Carsenie	Galène, plomb phosphaté, blende	Granite	Anciens travaux.
88.	La Caze	Id.	Id.	Id.
89.	Le Minier	Galène	Gneiss et schistes micacés	Id.
90.	Peyremale	Galène, plomb phosphaté.	Granite	Id.
91.	Tournhac	Id.	Id.	Id.
92.	Querbes	Galène	Schistes micacés	Id.
93.	Bresiès	Id.	Id.	Id.
94.	Cabrespines, n° 1	Galène, plomb phosphaté.	Diorite	Id.
95.	Cabrespines, n° 2	Id.	Id.	Id.
96.	Autre filon du même lieu	Galène	Id.	Id.
97.	Paysan	Id.	Id.	Id.
98.	Moulin de Cavagnac	Id.	Diorite schisteux	Id.
	DISTRICT DU Minier ET DE Creissels, ENVIRONS DE Milhau.			
99.	Filon de Limazette	Pyrite de cuivre, galène, plomb phosphaté	Calcaires du lias	Travaux modernes
100.	— du puits Bernard.	Pyrite de cuivre, sulfate de cuivre, plomb, blende	Id.	Id.
101.	Babouning	Cuivre carbonaté, oxydé, pyrite de cuivre, galène.	Id.	Id.
102.	Gales à Babouning	Id.	Id.	Id.
103.	Soulobre, ravin de Lavadons	Galène et blende	Calcaires et grès du lias.	Id.
104.	Gales	Pyrite cuivreuse	Id.	Id.
105.	Les Fons	Plomb, argent, plomb carbonaté	Calcaires du lias	Id. et travaux anciens.
106.	Ravin du Douzilieuque.	Blende et galène bournonite	Trias	Travaux anciens et modernes.
107.	Le Minier	Galène et cuivre gris	Id.	Travaux anciens.
108.	Orzals	Galène	Id.	Travaux anciens et modernes.
109.	Pradal	Blende et galène	Id.	Travaux modernes
110.	Persignac	Galène, blende, plomb phosphaté	Id.	Id.

N°s	Désignation des filons	Nature des minerais.	Roche encaissante.	Observations.
	DISTRICT MÉTALLIFÈRE DE Corbières ET DE Sylvanez.			
111.	Corbières	Cuivre gris, carbonaté, panaché, pyriteux, blende, felspathique	Schistes siluriens et porphyres	Travaux modernes s'étend sur l'Hérault.
112.	Fouserène	Cuivre pyriteux et panaché, gris, galène, blende, felspathique	Porphyre quartzifère et schistes cambriens...	Travaux modernes
113.	Meynes	Cuivre carbonaté	Id.	Id.
114.	Saint-André de Rieussec	Id.	Id.	Id.
115.	Autre au même lieu...	Id.	Id.	Id.
116.	Mas Marqués	Pyrite de cuivre	Id.	Id.
117.	Lastiouses	Cuivre gris, bournonite, blende	Porphyre et granite...	Anciens travaux.
118.	La Barre	Id.	Id.	Id.
119.	Roque-Féral	Hématite brune	Schistes de transition..	Id.
120.	Ouyre	Cuivre gris et carbonaté..	Calcaire de transition..	Travaux modernes
121.	Promilhac	Id.	Schistes de transition..	Id.
122.	Beuche-Payrol	Cuivre carbonaté	Calcaires de transition.	Id.
123.	Puy-de-Rostes	Pyrite de cuivre, bournonite, felspathique, oxyde d'antimoine	Terrains de transition, schistes et calcaire..	Id.
124.	Dyke quartzeux, même lieu	....	Terrain de transition..	Id.
125.	La Baume	Cuivre gris, antimoine sulfuré	Id.	Id.
126.	Mas d'Andrieu	Cuivre gris et carbonaté..	Trias	Id.

Si à cette longue série de gisements on ajoute des travaux anciens considérables sur les communes de *Cadour*, *Cabannes* et *Campelibat*, au nord-est de la *Bastide*, les filons qu'on a reconnus à *Ramon-de-Dieu*, à *Brusque*, à *Faveyrolles* et au *Viala*, dans l'arrondissement de *Saint-Affrique*, et quelques gîtes aux environs de *Saint-Geniest* et de *Pomayrol*, on aura une idée des ressources que l'exploitation des mines, dans ces contrées, pourrait offrir à l'industrie, si les voies de communication pouvaient en activer le développement. Nous aurons une idée plus exacte encore de ces ressources à l'aide des quelques détails que nous allons exposer.

Jusqu'à 1872, dans le cours du siècle actuel, le principal groupe métallifère de l'Aveyron se montre dans les terrains cristallins formant la rive gauche de l'Aveyron, à l'ouest du département, et s'étendant sur près de 50 kilomètres, depuis les limites du Tarn, aux environs de Najac, jusqu'à celles du Lot, au delà de Capdenac et d'Asprières.

C'est dans cette partie que se trouvent les filons de *Najac* et de *Villefranche* qui, pour la plupart, ont été l'objet de travaux étendus.

Suivant toute apparence, dans les temps anciens, le voisinage d'un

cours d'eau comme l'Aveyron, près duquel les populations devaient se porter de préférence, favorisa à un haut degré le développement des travaux miniers dont on voit encore les vestiges.

Dans tout l'espace compris entre Laguépie et Maleville, où se trouvent *Najac*, *Savança* et *Villefranche*, on voit un immense faisceau de près de cent filons, remarquables par la constance de leur direction, courant à peu près parallèlement du N.-O. au S.-E., qui, partant des bords de l'Aveyron, sortant, en quelque sorte, de dessous les terrains secondaires de la rive droite, traversent les terrains anciens dont sont formés les escarpements de la rive gauche, et s'étendent au loin dans l'intérieur du département.

Les caractères généraux de ces filons ont été bien définis par M. Grüner dans un travail inédit (1848). Ces caractères sont les suivants :

« La gangue habituelle des filons est le quartz saccharoïde, plus ou moins rubanné ou haché, blanc laiteux lorsqu'il est stérile, sinon, diversement coloré par des imprégnations cupro-ferrugineuses et plombeuses. Ici, c'est de la galène finement disséminée dans le quartz, et lui donnant une couleur gris bleuâtre; là, un enduit jaune ou vert de plomb chlorophosphaté; le plus souvent, des matières ocreuses provenant de l'altération des pyrites cuivreuses; rarement, quelques taches d'un bleu verdâtre, dues à du carbonate ou hydrosilicate de cuivre. Lorsque le filon est peu compacte, cloisonné ou géodique, le quartz saccharoïde fait alors place au quartz hyalin et au cristal de roche le plus limpide.

« A la surface, les filons paraissent habituellement sous forme de crête saillante de 1 à 2 ou 3 mètres de largeur, et quelques-uns d'entre eux peuvent être poursuivis sur plusieurs kilomètres de longueur. A côté des filons principaux, on observe habituellement quelques filons *latéraux* parallèles moins considérables, ou des *branches* et ramifications qui s'écartent, dans des directions diverses, du filon principal. A cette dernière classe appartiennent sans doute quelques rares filons principaux dont la direction diffère de celle des filons ordinaires, mais dont la composition est identiquement la même. On les a appelés, mais à tort, *filons croiseurs*, car ils ne coupent pas les filons ordinaires, mais ils s'y réunissent sans les traverser, comme de véritables *filons-branches*.

« Les autres gangues habituelles des matières métalliques sont rares dans le district de Villefranche; cependant on y rencontre, dans quelques filons, de la baryte sulfatée, du fer spathique, du manganèse oxydé, etc., et chacune de ces gangues accidentelles semble surtout caractériser une série de filons d'une même localité. De plus, certains gîtes sont particulièrement plombeux, comme ceux de Villefranche; d'autres, plutôt cuivreux, comme aux environs de Najac; quelques-uns, riches en blende, et ici encore on observe un certain groupement par localités. »

Ces différences paraissent devoir être attribuées, ainsi que l'a déjà fait observer M. Boisse, ainsi que l'a remarqué M. Fournet, au voisinage

de roches de nature diverse, telles que des roches porphyriques et des serpentines. C'est dans cet ordre d'idées que M. Fournet plaçait le groupe de Najac dans le système serpentineux, et il rapportait ceux de Villefranche aux roches porphyriques et euritiques.

Environs de Najac. — Parmi les filons de ce district, et dont nous avons donné la note, les nos 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15 et 16 appartiennent à la concession de Pichignet. Ce sont eux, et surtout ceux d'entre eux situés dans le vallon de la Serène, qui ont été l'objet des travaux ouverts aux approches de 1840 et poursuivis pendant quelques années.

Filons du *Pichignet.* — Les filons dits du *Puits*, de la *Serène*, *Jacques* et *Prox*, d'après M. de Hennezel qui, vers 1848, dirigeait les travaux, représenteraient les embranchements d'un filon principal vers lequel ils convergent en profondeur. Les affleurements de ces quatre filons n'apparaissent au jour que sous forme de veines quartzeuses de peu d'apparence, ou par la présence de matières quartzo-ferrugineuses; ils sont moins saillants que ceux du groupe voisin de Savença, situé entre la concession de Pichignet et celle de Villefranche. Un seul possède une crête saillante quartzeuse : c'est le filon du Puits, que l'on voit sur les escarpements de la Serène.

Les travaux qu'on fit sur ces filons consistaient en galeries et quelques puits qui ne furent poursuivis qu'à peu de profondeur. On y avait trouvé des colonnes métallifères présentant des épaisseurs de minerai massif de 0,08 à 0,10 et même 0,15 et 0,20.

D'après les documents inédits que nous devons à l'obligeance de M. Grüner, les longueurs productives de ces galeries auraient donné 23,60 mètres cubes, soit 118,000 kilogrammes, de minerai pur pour un massif extrait de 422 mètres cubes, ou, par mètre cube, 279 kilos de minerai pur mélangé de galène et de pyrite cuivreuse, renfermant le plomb et le cuivre dans la proportion de 3 à 8 de plomb pour un de cuivre.

Les galènes mélangées à la pyrite de cuivre ont donné 192, 161, 174 et 101 grammes d'argent aux 100 kilos, et en moyenne 151.

Les travaux de la mine du Pichignet ne durèrent que peu d'années, et s'ils purent acquérir, dans le sens de la direction, un certain développement, ils furent arrêtés en profondeur par les eaux qui rendaient le service des chevaux insuffisant et exigeaient l'emploi de machines à vapeur. Ils furent abandonnés par suite du manque de fonds et avant qu'on ait pu installer un atelier de lavage des minerais.

Filon du *pont de la Frégeaire.* — Crête apparente sur la rive droite de l'Aveyron. Absence apparente de travaux anciens.

Direction : h. 9. N. O.-S. E.

Puissance : 2 mètres.

Gangue : quartz saccharoïde un peu celluleux, avec parties ferrugineuses et mouches de pyrite de cuivre.

Filon de *l'Espanié.* — Affleurement en saillie de 8 à 10 mètres. Plomb et cuivre.

Direction : h. 8.

Puissance : 2 à 3 mètres.

Quelques travaux anciens. Haldes peu considérables.

Ce filon s'enfonce sous le grès bigarré sans le traverser.

Filon de la *Bastit.* — Les escarpements de la rive droite de l'Aveyron présentent sur ce filon une grande fente profondément entaillée. Ce sont les travaux anciens dont on n'a tiré vraisemblablement que du minerai de cuivre.

Filon de *Maillors.* — Il descend du plateau de Cassagnes vers l'Aveyron, et a été attaqué par les anciens dans les parties hautes.

Direction : h. 8 à 9, environ N. O.-S. E.

Puissance : elle atteint 2 mètres.

Gangue : le fer spathique y abonde.

Minerai : pyrite de cuivre, bournonite, etc.

Aucun travail récent n'a été ouvert sur ce filon.

Filon de *Cassagnes.* — Il est principalement quartzeux, et n'apparaît pas à la surface sous forme d'une crête bien sensible.

Direction : h. 8 1/2.

Inclinaison : au N. E.

Puissance : elle est moyennement de 1 mètre.

Quelques travaux insuffisants furent ouverts sur ce filon vers 1840; on y a constaté la présence de minerai de cuivre compacte, en nodules ou en veines de 0,05 à 0,10 d'épaisseur. Un peu de galène se montrait au mur du filon. Les essais ont donné 29,7 pour 100 de cuivre. La position de ce filon, comme celle de la plupart de ceux de cette contrée, est favorable pour l'ouverture d'une galerie d'écoulement qui se trouverait à 140 mètres environ au-dessous du niveau général du plateau.

Au pont de la Serène on connaît encore, dans le granite, un groupe de filons dirigés sur h. 9. Le principal, dit de la *Bruguière*, se compose de galène et plomb vert associé à du quartz.

On reconnaît en divers points les traces d'anciens travaux. D'après un manuscrit de 1648, un seigneur protestant y faisait travailler des mineurs allemands; mais, en 1572, tous furent massacrés au moment de la Saint-Barthélemy et la mine fut abandonnée.

Concession de Villefranche. — Elle renferme un grand nombre de filons, et ceux que nous avons désignés sous les nos 29, 30, 31, 35, 37, 39, 43, 45, 47, 49, 51, 53, 55, 57, 59, 60, 61, 66, 67, lui appartiennent.

Le plus grand nombre d'entre eux a été l'objet de travaux anciens dont quelques-uns sont très-considérables, et on comprend que, dans la surface concédée de près de 4,000 hectares, il y avait place pour un grand nombre de Compagnies. C'est, du reste, ce qu'on pourra facilement déduire de l'examen rapide que nous allons faire de quelques-uns de ces filons.

Tous ces filons ont été délaissés depuis des siècles, et un seul, le filon de Labaume, est aujourd'hui en exploitation.

Filon de *Cantagrel.* — Formé de quartz saccharoïde. Quelques travaux anciens.

Direction : h. 9 à 10.

Puissance : 2 mètres.

Sa crête peut être suivie sur une longueur de 3 à 400 mètres, et on peut en reconnaître la trace sur une longueur d'environ 3,000 mètres dont 1,500 sont dans le granite et 1,500 dans le terrain schisteux.

Le minerai analysé par M. Senez a donné 290 et 315 grammes d'argent.

Filon de *Laurière.* — Crête quartzeuse dans le granite. Il se poursuit jusque sur les bords de l'Aveyron où on le désigne sous le nom de *la Vergnole.* Il a été travaillé par les anciens au moyen de tranchées profondes.

Direction : h. 10.

Minerai : celui que M. Senez a trouvé dans les haldes anciennes a donné 65 de plomb et 281 grammes argent aux 100 kilos.

Filon du *Clusel.* — Analogue au précédent, presque parallèle. Travaux anciens.

Filon de *Vialelles.* — Travaux anciens indiqués par les dépressions du sol.

Le minerai des haldes a donné 70 kilos plomb et 360 grammes argent aux 100 kilos.

Filon du *Cros.* — En se rapprochant de Villefranche, on rencontre les filons que l'on considère jusqu'à présent comme les plus importants de ce groupe.

On peut poursuivre ce filon sur 4 kilomètres, et la ligne interrompue des vieux travaux occupe une étendue d'environ 1,500 mètres. Les travaux les plus importants paraissent être au sud du hameau de *Cros.* C'est une série d'entonnoirs très-vastes et de profondes et larges tran-

chées, flanquées à droite et à gauche de grands tas de déblais, toujours composés de quartz blanc saccharoïde avec plomb vert et galène finement disséminée. D'autres travaux se montrent encore entre les hameaux de Conte et de Lalandelle.

Direction : h. 9 à 7.

Puissance : 1 à 2 mètres. Nombreuses et puissantes ramifications.

Minerai : celui qu'on a trouvé dans les déblais a donné 61 grammes d'argent aux 100 kilos.

Filon de *Pesquiès.* — Ce filon est coupé, par la route nationale, à 4 kilomètres au sud de Villefranche. Il présente deux branches, l'une h. 9 et l'autre, plus importante, h. 6. Cette dernière a été l'objet de quelques travaux qui ont montré, dans un quartz carié, une puissance métallifère de 0,30 à 0,40, contenant de la galène et quelques veinules de cuivre gris.

La galène a donné aux essais 72 de plomb et 385 grammes argent aux 100 kilos. La position de ce filon, rapproché de l'Aveyron, est des plus favorables pour le travail.

En admettant seulement 0,01 de galène pure dans l'épaisseur du filon, on aurait encore une valeur d'environ 60 francs par mètre cube; et il faut remarquer que, dans de pareils filons, on trouverait des épaisseurs métallifères plus grandes correspondant à des renflements que les anciens savaient parfaitement trouver.

Filon de la *Maladrerie.* — A 2 kilomètres au sud de Villefranche. Anciens travaux étendus, descendant probablement au-dessous de l'Aveyron.

Il présente aujourd'hui l'aspect d'une longue fente de 0,80 à 1 mètre de largeur, traversant l'escarpement schisteux qui domine l'entrée du vallon de la Maladrerie.

Filon du *Tournant de la Roque.* — Nombreux travaux anciens.

Filon de *Macaron.* — Sur la route de Villefranche à *Rieupeyroux.* Très-vastes haldes avec des débris de quartz saccharoïde, rubané, ocreux, et de galène, comme pour le précédent.

Le minerai des haldes a donné 60 de plomb et 290 grammes aux 100 kilos.

Filon de *Saint-Jean.* — Vieux travaux au Mont-Calvaire de Villefranche, au confluent de l'Alzou et de l'Aveyron. Les minerais des déblais anciens ont donné à l'essai la teneur énorme de 603 grammes d'argent aux 100 kilos de minerai.

Filon de *Penevayre.* — Dans le cadastre, Penevayre porte encore le nom de *mines;* c'est, dit M. Fournet, l'un des points sur lesquels on trouve

les documents les plus précis : ainsi, l'on sait aujourd'hui, ajoute-t-il, que les travaux ont été repris plusieurs fois à cause de la bonté des produits, et que les derniers furent interrompus à la suite des guerres de religion.

D'après M. Senez, 100 kilos de schlick ont rendu 76 kilos de plomb et 445 grammes d'argent.

Filons de *Mas-de-Buisson* et de *Magnol*. — Les minerais recueillis dans les déblais ont donné :

Pour le Mas-de-Buisson. .	330 grammes argent aux 100 kilos.
Pour Magnol.	390 grammes.

Filon de *Labaume*. — C'est le seul de tous ceux de la concession de Villefranche qui fût en exploitation en 1870. C'est un filon quartzeux encaissé dans une roche euritique. Ses affleurements, visibles sur une pente abrupte, consistent en un quartz rubanné et granulaire dont la couleur contraste avec celle de la roche encaissante. Ils ne présentent que des indices presque insignifiants de substances métalliques, mais les nombreux amas de déblais qui les environnent montrent que le filon auquel ils appartiennent a été anciennement l'objet de travaux importants.

L'exploitation actuelle, poursuivie avec une grande persévérance depuis un certain nombre d'années, y consistait, en 1870 et probablement encore aujourd'hui en 1873, en un puits de 163 mètres de profondeur, descendant à 32 mètres au-dessous du lit de l'Aveyron. Il dessert trois niveaux de galeries qui passent au-dessous des travaux anciens et s'étendent sur un développement d'environ 350 mètres (1870); près du puits, les travaux anciens ne pénètrent pas à plus de 30 à 35 mètres au-dessous du sol; mais, à 300 mètres de distance, on en a rencontré qui descendaient jusqu'à 170 mètres de profondeur. Les travaux actuels ont fait reconnaître une grande continuité de minerai riche au-dessous des ouvrages anciens, particulièrement concentré dans des lentilles de grandes dimensions qui se succèdent dans le sens du filon.

Le minerai consiste en galène associée à la bournonite et au sulfure d'argent. Il renferme 6 kilogrammes de ce métal aux 1,000 kilos de plomb d'œuvre.

Les eaux de la mine étaient épuisées par deux locomobiles de sept chevaux, et l'extraction se faisait par une machine de huit.

Le minerai préparé sur place se composait de :

50 °/₀ de scheidage, minerai en roche de 0,03 de côté, de 38 à 40 °/₀ de plomb.
35 °/₀ de criblages ou grenailles de 30 à 35 pour 100.
15 °/₀ de schlichs de 45 à 55 pour 100.

Sa valeur variait avec sa teneur en métaux; elle était moyennement de 450 francs par tonne.

En 1865 on en avait extrait dans l'année 2,845 tonnes qui ont rendu 403 tonnes de minerai préparé, et l'exploitation y devient de plus en plus rémunératrice.

En résumé, l'examen de cette mine montre que la plus grande économie et le plus grand ordre y règnent aujourd'hui, et l'on voit que les travaux actuels n'étaient naguère encore que des travaux préparatoires. Jusqu'en 1870, ils étaient destinés à reconnaître le filon, à différents niveaux, sur de grandes longueurs, et à préparer l'exploitation ultérieure.

Une telle situation est uniquement due au savoir-faire des ingénieurs dirigeants et à la persévérance soutenue des exploitants, sans laquelle il n'y aurait encore eu là, comme dans tant d'autres entreprises du même genre en France, qu'un nouvel exemple d'abandon et de découragement.

Vallon des Martinets. — Non loin de Villefranche, près de la Bastide-Levesque, pour ainsi dire au milieu de toutes ces mines, on voit le *Vallon des Martinets*, où se trouvaient autrefois beaucoup de martinets à cuivre dont le nombre a diminué de plus en plus. On y distingue des haldes et des cavités qui y indiquent l'existence de travaux anciens considérables.

Filon des Serres. — Dans cette vallée, et près du hameau de Serres, se montre un important filon, passant du granit dans le schiste, montrant ou une série d'amas de déblais et de cavités, ou les crêtes de quartz saccharoïde rubané, et haché de plusieurs filons très-rapprochés les uns des autres, et tout y indique que tous ont été l'objet d'une exploitation ancienne prolongée. Les concessionnaires de Villefranche considéraient ce filon comme le prolongement de celui de Labaume, qu'ils exploitent aujourd'hui, et ils ont commencé en 1870 une galerie d'écoulement destinée à l'atteindre et à le recouper à 55 mètres au-dessous de son affleurement.

Les filons de la *Baume-la-Bastide*, du *Vialardet*, de *Vézir* présentent encore des tas de déblais considérables.

District d'*Asprières*. — En suivant vers le nord cette bande de terrains métallifères que nous venons d'examiner, qui s'étend de Najac à Villefranche, nous atteignons le district d'Asprières où les sires de Capdenac avaient obtenu du roi, en 1519, et plus tard en 1554, l'autorisation d'ouvrir des mines dans leur seigneurie.

Filon du Minier. — Aux environs de Peyrusse, petit bourg situé à 5 ou 6 lieues au nord de Villefranche. A 4 ou 5 kilomètres du chemin de fer, on retrouve encore un ensemble remarquable de travaux anciens.

Au sud de Peyrusse existent deux hameaux, le *Minier haut* et le *Minier bas*, dont les noms seuls sont toute une tradition.

Sur une largeur de 50 mètres au moins, on peut y voir une série de déblais et de cavités orientés sur h. 9, traversant le plateau sur une longueur d'environ 1,000 mètres.

On a exploité là un groupe de filons parallèles encaissé dans le granite, dont les crêtes paraissent barytiques, mais dont la gangue dominante est le quartz, qui constitue presque seul les déblais de l'ancienne excavation.

Le minerai que l'on retrouve au milieu d'eux est la galène, le plomb phosphaté, quelques mouches de cuivre pyriteux et des colorations qui permettent de croire qu'il était aussi associé à des *phalerz* argentifères.

L'élévation du plateau, de 150 mètres environ au-dessus des vallées voisines, permet de supposer que les travaux anciens ne sont pas descendus jusqu'à leur niveau.

Peyremale. — Au nord de Peyrusse existe une seconde ligne de travaux anciens encore plus remarquable que la précédente. Les haldes occupent une largeur de 300 mètres environ et se poursuivent dans la direction h. 10, sur une distance de 2,000 à 2,500 mètres. Ils descendent depuis le plateau jusque vers le village de *Tournhac*, à mi-hauteur des coteaux.

Les déblais présentent du minerai de plomb et des scories plombeuses. L'examen de ces déblais permet de croire que les anciens ont extrait de cette exploitation des quantités considérables de galène massive.

Les filons de Peyremale semblent traverser la vallée de Tournhac, et l'on croit trouver leur prolongement dans les communes de *Lieucamp* et de *Sonnac*, où se présente une nouvelle série de vieux travaux.

Les filons du district d'Asprières se montrent dans toutes les roches cristallines, granite, diorite, gneiss, schistes micacés, et pénètrent même dans les terrains jurassiques. Leurs caractères sont à peu près les mêmes que ceux des environs de Villefranche. La baryte sulfatée paraît y être plus abondante ; mais c'est le quartz qui domine.

Environs de *Milhau* et de *Saint-Affrique*. — Cette partie du département de l'Aveyron renferme encore des filons très-étendus et qui ont été l'objet de travaux anciens très-considérables ; mais ils se présentent généralement dans des conditions géologiques toutes différentes de celles dans lesquelles se trouvent les filons de Villefranche ou d'Asprières. Ils sont le plus souvent encaissés dans les roches triasiques.

Creissels. — Les filons de cette localité se font remarquer par une remarquable régularité. Leur crête, souvent à découvert, permet de les suivre presque sans discontinuité sur une longueur de 2 à 4 kilomètres.

Filon de *Limazette*. — Intercalé dans des couches dolomitiques.

Direction : N. 50 O.

Puissance : environ 1 mètre, et jusqu'à 5 en comprenant les veines latérales.

Minerai : galène, blende, pyrite de cuivre. — Dans une gangue quartzeuse.

Filon de *Gales*. — Connu sur plus de trois kilomètres à gangue de baryte et quartz.

Direction : N. 60 O.

Filon de *Fons*. — Peut être suivi sur plus de 2 kilomètres. Travaux anciens considérables.

Minier du *Tarn*. — Les filons y sont connus depuis des temps très-anciens, ainsi que l'indique le nom de la localité. C'est à eux que se rapporte cette indication du 20 janvier 1315. « Le trésorier du comte de Rhodez afferme les mines d'argent de la combe de Montjau avec les bois et ustensiles, et il s'oblige à donner au comte la moitié de l'argent qui en proviendrait[1]. »

Ces filons paraissent moins réguliers que ceux des environs de Creissels. La baryte y est moins abondante et le quartz y domine. Bien que les minerais de plomb y soient relativement en plus grande quantité, on y trouve les minerais de cuivre en plus grande abondance.

Leur direction est à peu près la même que pour les précédents, auxquels ils semblent se lier par des affleurements qu'on retrouve sur leurs prolongements, comme aux environs de Peyre, des Douzes et de Concoules. Presque tous ces filons renferment, outre la galène, de la bournonite et des cuivres gris en proportion assez notable.

De nombreux gisements se présentent encore aux environs de *Saint-Affrique*, à *Faverolles*, au *Viala*, qui tous se trouvent dans les mêmes terrains que les précédents. Ils produisent particulièrement des minerais de cuivre. Les mines de Faverolles et de Viala paraissent être dans de bonnes conditions de richesse.

District de *Corbières*, *Sénomes* et *Mélagues*. — « Les filons qu'on y trouve, dit M. Boisse (1872), ne sont encore qu'imparfaitement connus, malgré les travaux qui y ont été tentés dans ces dernières années. Les gîtes sont tous situés dans la partie inférieure des terrains de transition. On y trouve bien quelques filons de quartz cuprifère dont les affleurements, faciles à suivre, sont souvent marqués par des dykes saillants, et se prolongent sur une assez grande étendue ; mais ces filons ne contiennent

1. *Statistique du Cantal*. Baudin.

que des traces de minerai, et la plupart des gîtes, doués de quelque richesse, sont peu apparents à la surface; ces gîtes se font remarquer par la variété et par la richesse des minerais métalliques; ils sont tous *cuprifères* et contiennent, en outre, du plomb, de l'antimoine, du fer et du zinc. Les gangues dominantes sont le quartz et la baryte. Leur direction est généralement N. S. Ils sont encaissés dans les calcaires de transition et dans des porphyres subordonnés à ces terrains. Ils pénètrent dans le trias et s'arrêtent à la hauteur des grès. »

A *Brusque* les couches paraissent imprégnées de minerai, la blende y domine et la galène a donné 175 grammes d'argent aux 100 kilos. Toutes ces mines étaient abandonnées en 1870. Vers 1858, un certain nombre d'entre elles furent travaillées, des galeries anciennes furent déblayées; mais on n'est réellement pas sorti de la période des recherches, et les travaux ont été abandonnés avant qu'on y ait fait ce qui était nécessaire pour les mettre en valeur. D'un autre côté, il faut reconnaître que de grandes entraves ont été apportées par les difficultés des transports, et il est probable que les conditions de ces mines seront bien modifiées par la présence du chemin de fer de Rhodez à Montpellier.

Ajoutons maintenant[1] qu'en 1806 on travaillait dans les communes de *Marcillac*, *Valady*, *Saint-Christophe*, etc., et sur huit ou dix filons dont la puissance est indiquée de 0,50 à 0,60.

Dans la commune de *Bord*, canton de Saint-Geniest, arrondissement d'Espalion, on constatait la présence de minerais de plomb tenant 63 p. 100 plomb et 304 grammes argent aux 100 kilos plomb, en même temps que des anciennes fouilles aux environs de *Saint-Geniest, Pomayrolle*, etc.

En résumé, et sans entrer dans de plus grands détails, nous voyons que le département de l'Aveyron renferme des richesses minérales considérables; que ces richesses se manifestent sous la forme de filons étendus et puissants qui traversent diverses natures de terrains.

Ces filons ont été pour la plupart l'objet de travaux très-développés et de longue durée sous la domination romaine et au moyen âge; ils étaient en activité au moment de la découverte de l'Amérique; ils se maintinrent encore pendant près d'un siècle, malgré la dépréciation de l'argent, et ne furent suspendus que par suite d'événements indépendants de leur richesse, et particulièrement sous l'influence de l'action malheureuse que détermina, dans toute cette contrée, l'explosion des guerres religieuses.

Nous avons vu que depuis cette époque, c'est-à-dire depuis trois siècles, la plupart de ces mines sont restées abandonnées; les orifices des puits, altérés par les intempéries, se sont fermés, et toutes les traditions ont été perdues; quelques-unes d'entre elles ont été reprises dans

1. *Journal des Mines*, 1806.

le cours de ce siècle, et, à l'exception d'une seule, cette reprise n'a porté que des résultats infructueux.

Il n'est pas nécessaire de faire un examen approfondi des travaux ouverts dans ces derniers temps, pour reconnaître qu'à l'exception de la mine dont nous parlions tout à l'heure, celle de Labaume, il n'a été fait aucun effort véritablement sérieux, ou du moins suffisamment raisonné, pour atteindre les profondeurs situées au-dessous des travaux anciens. On s'est souvent perdu au milieu des anciens déblais, et des sommes considérables peut-être ont été employées infructueusement sans rien enseigner.

Maintenant il est difficile de voir ces immenses filons formant des faisceaux d'une haute importance, sans que l'esprit recherche ce que cette contrée, éminemment métallifère, serait devenue si elle avait été soumise au régime législatif allemand au lieu d'être régie par les décrets autoritaires qui ont dominé l'industrie minérale dans le cours des siècles derniers. Il est permis de croire que les choses s'y seraient passées d'une toute autre manière ; les filons auraient été activement étudiés depuis longtemps, des routes sillonneraient ces montagnes et un système hydraulique subsisterait pour procurer la force nécessaire aux exploitations; des galeries d'écoulement auraient été pratiquées là où cela aurait été possible, et l'Aveyron jouirait aujourd'hui des bénéfices de plus d'un siècle de travail ; des colonies de mineurs seraient installées, comme autrefois dans le XVI[e] siècle, au sein de ses vallons, et une fonderie centrale, située près des terrains houillers, produirait abondamment une grande partie du plomb, du cuivre et de l'argent que nous sommes obligés d'acheter à l'étranger.

Enfin la régularité et la continuité des affleurements métallifères, l'étendue considérable des vieux travaux qui n'ont pris que la partie superficielle de la richesse, la haute teneur en argent d'un grand nombre de filons, teneur qui atteint jusqu'à 600 grammes aux 100 kilos de plomb, et celle des minerais de cuivre : l'abondance des cours d'eau, le voisinage des bassins houillers de Decazeville et d'Espalion, la situation de deux chemins de fer traversant le département nous paraissent autant de causes aptes à modifier l'état actuel des choses, à rendre désormais possible et fructueuse l'exploitation de la plupart de ces gisements trop longtemps abandonnés.

V

Sud-Est et Midi de la France.

MONTAGNES DU SUD-EST.

Les Alpes, dans leur prolongement vers la Méditerranée, dans les départements des Basses-Alpes et du Var, montrent bien encore des vallons profondément encaissés, des montagnes escarpées et abruptes, mais leur aspect diffère entièrement de celui qu'elles présentent dans les Hautes-Alpes, dans l'Isère et la Savoie.

Dans ces derniers pays, les roches les plus anciennes forment, en quelque sorte, un massif central alpin, autour duquel viennent se grouper et se superposer les terrains secondaires et tertiaires que l'on retrouve dans le Jura, dans la vallée du Rhône, en Provence et dans le département du Var, et cette différence dans la structure géologique modifie complétement l'aspect général du pays.

On ne voit plus ces roches à couleur sombre, aux cimes élevées et déchiquetées, ni ces longues vallées que l'on observe dans les massifs du Mont-Blanc ou de la Maurienne; le pays est devenu essentiellement calcaire et on n'aperçoit plus à l'horizon « que des escarpements dénudés et pierreux, des cimes chauves dont les surfaces anguleuses et dénudées attestent l'aridité[1], » au pied desquels s'étendent des plaines unies, souvent couvertes de riches cultures.

Les roches anciennes disparaissent donc sur de grandes étendues, au-dessous des calcaires qui les recouvrent; mais on les voit se relever et surgir près des bords de la mer, entre Toulon et Antibes, où elles forment les groupes montagneux des Maures et de l'Esterel, et dans le département des Alpes-Maritimes.

1. Burat. *Géologie de la France.*

Dans le Var et les Basses-Alpes, les mines sont peu nombreuses et peu importantes dans les terrains calcaires; mais elles se montrent plus abondamment dans les terrains anciens du littoral où elles paraissent avoir été l'objet de travaux assez étendus à diverses époques, et notamment, lorsqu'après avoir été chassés des Corbières par Charles-Martel, les Sarrazins vinrent occuper les montagnes des environs d'Hyères.

Principaux gisements connus :

Département des Basses-Alpes[1].

Barles, plomb, cuivre. Six filons de 0,20 à 1 mètre de puissance. Direction N. N. O. Roche encaissante, grès quartzeux, gangue de baryte, chaux carbonatée, argiles, galène argentifère et antimoniale, cuivre gris et carbonaté.

Bréziers, plomb, filons de galène dans le lias. Paraissent peu importants.

Curban, plomb, argent. Plusieurs filons parallèles dans le terrain jurassique; le principal filon a 0,55 de puissance. Direction E. O. Inclinaison 50° S. Gangue de chaux carbonatée et marne argileuse noirâtre, galène et rognons à 0,0002 d'argent. En 1785, il y avait une fonderie où on traitait les minerais de Bréziers et de Piégu. Travaux abandonnés en 1793.

Piégu, plomb, cuivre. Filon de 0,70. Direction N. E. dans le jurassique. Galène avec cuivre gris, teneur 0,0014 argent. Exploité vers 1790.

Auribeau, plomb. Filon dans le lias, gangue de baryte.

Colmars, plomb. Travaux anciens.

Malune, plomb, près du col d'Allos. Découvert en 1762. Travaillé en 1766 et 1786.

Saint-Geniez-de-Dromont, plomb, près du hameau de Noux. Sept filons N. E.-S. O. dans le lias, baryte sulfatée, chaux carbonatée, fer carbonaté, pyrite de fer. Puissance 0,10 à 1 mètre.

(Ces filons sont reliés par d'autres plus minces, qui les coupent sous toutes sortes d'inclinaison et de direction. Au nord de ce gîte, on trouve aussi un grand nombre de minces filons de galène, ce gîte a été depuis plusieurs siècles l'objet de travaux qui ont toujours été dirigés vers la partie supérieure des filons. L'exploitation interrompue vers 1792 fut reprise en 1811 et poursuivie jusqu'en 1821. La concession de 1821 qui dépossédait les exploitants amena la suspension des travaux.)

Sisteron, cuivre. Baronne de Beausoleil.

Montagne de *Mondrieu*, plomb. Id.

Verdaches, cuivre. Id. non loin de Barles.

Département du Var.

Cap Garonne, cuivre. Concession de 1862, sur 660 hectares, en activité.

Faucon-Largentière, plomb, argent. Concession de 1862, sur 2175 hectares, près

1. Comptes rendus des Ingénieurs, 1846. — Statistique des préfets. — *Histoire naturelle de la Provence*, par Darluc. — *Géologie de la France*. — *Carte géologique du Var*, de M. de Villeneuve. — *Prodrôme de l'histoire naturelle du Var*, par Panescorse.

Cogolin. Filon de plomb dans les schistes cristallins, galène associée à la blende. On y trouve aussi du plomb phosphaté, gangue de baryte et de spathfluor.

Lagarde, plomb, cuivre, fer. Recherches en 1856. Concédée en 1833. Renoncée en 1834.

Ameniers, du cap Brun, plomb, argent.

Six-Fours, etc., plomb, argent.

Camail, *Nivière*, fer, cuivre.

Plan-de-la-Tour, montagne de Courpatas, plomb.

La Seyne, plomb.

Cogolin, quartier de Fonmarié, plomb.

Ollioules, au trou du Roi, cuivre, argent, inconnu.

Collobrières, plomb, argent, cuivre. Anciens travaux.

Mayons, — Travaux anciens.

Saint-Daumas-les-Mines, — — ouvert en 1770, abandonné à cause de sa pauvreté.

Lagarde Freinet, — —

Lamoure, — —

Lamolle, — —

Les Mourgues, plomb. Tenté en 1750.

Vaucron, plomb, argent.

Le Revest et *Saint-Maxime*, plomb, argent.

Le Luc, plomb, argent, au quartier des Maillons. Mine remplie d'eau.

Saint-Clément, plomb, argent, près Milamas.

Environs de *Saint-Tropez*, chrôme, signalé au quartier des Quarrades.

Environs de *Ramatuelle*, plomb. *Roquebrune*, plomb. Recherches et renonciation en 1867.

Environs de *Sainte-Eulalie*, antimoine.

Les Campeaux, titane associé aux minerais d'étain ; paraît sans importance.

Ollioules, mercure, signalé dans les marnes jurassiques, entre Ollioules et Alançon (inconnu).

Mourety, *Roucas-Blanc*, les *Adrets*, château de *la Guigne*, *Largentière*, *Esterelle*.

Filons divers, quelquefois très-étendus, de quartz, de barytine et fluorine, présentant des indices de galène, cuivre gris et cuivre pyriteux.

Les filons du Var ont été exploités sous les Romains et pendant la longue occupation des Maures, si l'on s'en rapporte à M. de Villeneuve[1]. Ceux de *la Moure*, de *la Reille*, dans les montagnes des Maures, ont été l'objet de travaux importants, et leur délaissement paraît avoir coïncidé avec la découverte de l'Amérique. « Placés, dit cet ingénieur, dans un terrain primitif où les révolutions du globe ont agi à des périodes très-répétées et selon des directions multipliées, les filons du Var semblent affectés de nombreuses irrégularités, menaçant d'insuccès toutes les tentatives industrielles, qui auraient à lutter contre les hauts prix de la main-d'œuvre. »

Ces mines furent travaillées à plusieurs reprises. En 1315[2], Rossolin

1. *Carte géologique du Var.*
2. Panescorse.

de Fox, seigneur de Bormes et de Collobrières, faisait travailler sur le territoire de ce dernier pays des gisements de plomb, argent, cuivre et fer; et de nombreuses tentatives furent pratiquées dans le courant du dix-huitième siècle et du siècle actuel.

D'après l'opinion généralement admise sur la valeur de ces gisements, on devrait considérer le Var comme un simple cabinet minéralogique; il n'y aurait que peu de chose à tenter et l'abandon de ces mines serait justifié.

Cependant cette opinion n'a pas toujours été exprimée d'une manière aussi nettement défavorable, et si, comme on doit le faire en pareille matière, on laisse de côté les révolutions du globe et les grandes idées qui s'y rattachent, si on étudie la structure des montagnes qui renferment ces filons, on croit reconnaître la possibilité de l'existence de gisements utiles, et on est obligé d'admettre que réellement, dans l'état actuel de nos connaissances, nous ne savons que bien peu de choses qui puissent nous autoriser à déclarer que ces gisements n'ont qu'une valeur précaire.

Les travaux anciens importants pratiqués sur plusieurs points, les noms de Largentière que l'on retrouve et les traces d'anciennes fonderies indiquent évidemment des périodes d'un travail prolongé qui s'accorde mal avec l'idée d'une irrégularité plus grande que celle qu'on rencontre ordinairement dans les mines, et c'est, en général, dans des mines de cette nature, le degré de capacité de l'ingénieur dirigeant les travaux qui annule ou accroît le mauvais effet de ces perturbations. Il est donc permis de croire, ainsi que le pensait le préfet du Var en l'an IX, « que le défaut de combustible put être l'une des principales causes qui ont arrêté le travail dans ces contrées, » plutôt que l'irrégularité des gîtes.

Si nous jetons un coup d'œil rapide sur les montagnes des Maures et de l'Esterel, nous reconnaîtrons qu'on y trouve puissamment développées toutes ces roches accompagnant ordinairement les productions métallifères; et si nous nous en rapportons à un détail d'une statistique qui nous montre que 100 quintaux de plomb donnaient 60 livres d'argent, soit environ 6 kilos d'argent à la tonne de plomb, nous verrons que ces productions peuvent être dignes d'une étude plus sérieuse.

Les Maures et l'Esterel constituent deux groupes de montagnes, séparées par les eaux de l'Argens et s'étendant des environs de Toulon jusqu'auprès de Cannes. Elles surgissent du sein des terrains sédimentaires et notamment du trias dont on voit les couches colorées sur la route du Luc à Fréjus, ou du terrain houiller dont les lambeaux se montrent à Toulon, à Collobrières et dans la vallée du Reyran.

Le groupe des Maures, le plus étendu des deux, est particulièrement formé de gneiss ou de micaschistes traversés, dans un grand nombre de points, par des filons granitiques ; des phyllades satinées recouvrent

les schistes cristallins, traversés eux-mêmes par de nombreux filons quartzeux[1].

La serpentine apparaît en quelques points, aux environs de la Garde et de Saint-Tropez, de manière à laisser croire à une plus grande étendue souterraine; les spilites et les mélaphyres se montrent dans l'Esterel et dans les Maures; les porphyres rouges quartzifères constituent presque tout le groupe de l'Esterel dont ils forment les cimes escarpées et abruptes, et où ils atteignent plus de 1,200 mètres d'altitude, comme au mont Vinaigre. Enfin on voit encore les traces d'anciens cratères et les basaltes qui en proviennent, dans plusieurs endroits du département, et notamment aux environs d'Ollioules, de Revest, de Cogolin, etc.

On voit donc, sans entrer dans plus de détails, que ces montagnes renferment d'abord les schistes cristallins qui sont, partout, le principal siége des mines les plus suivies, et que, comme les contrées les plus métallifères connues, elles possèdent une série de roches éruptives dont la formation a dû favoriser à un haut degré les concentrations métalliques dans la profondeur, et notamment des plombs et cuivres argentifères.

De plus, si nous observons les divers endroits de la chaîne des Maures où se trouvent les anciennes exploitations, compris dans une étendue linéaire de plus de 20 kilomètres, on reconnaît que ces lieux sont situés à peu près sur une ligne N. E.-S. O. presque parallèle à l'axe de la chaîne. Il paraît donc probable que ces anciennes exploitations appartiennent à un même faisceau métallifère courant dans cette même direction, c'est-à-dire dans la direction que devraient avoir les filons nobles de la contrée; par suite de cette observation dont la vérification peut facilement être faite, il y a lieu de rechercher si ces mines ne seraient pas susceptibles d'acquérir une importance plus grande qu'on ne le suppose.

Cette observation de l'existence d'un faisceau métallifère dans la chaîne des Maures et dans la direction N. E.-S. O, nous paraît d'autant plus possible que nous retrouvons, aux environs de Toulon, un filon de même nature, dont nous parlerons plus loin, et qui semble être situé sur le prolongement de ce faisceau. Nous devons cependant ajouter que nous ne connaissons pas suffisamment les lieux pour exprimer une opinion affirmative à cet égard.

Nous n'étendrons pas davantage ces considérations que chacun pourra vérifier; nous rappellerons seulement que les conditions économiques de ces gisements peuvent être modifiées par le voisinage du chemin de fer de Toulon à Nice, et nous donnerons les détails suivants sur quelques mines :

1. Coquand. *Bulletin de la Société géologique de France*, tome VI, p. 289.

Mine de Collobrières. — Les environs de ce pays sont traversés par de nombreux filons quartzeux. En allant de Collobrières à Pierrefeu, on voit les traces des anciennes exploitations, ouvertes dans le quatorzième siècle, au sein des gneiss et des phyllades. Ces travaux n'ont jamais été repris depuis leur abandon, et on n'en connaît ni l'étendue souterraine, ni l'importance.

Mine du Cap-Garonne, cuivre. — La présence du cuivre a été signalée depuis longtemps dans les montagnes de Carqueiranne et dans les poudingues triasiques du Cap-Garonne, mais il fut particulièrement reconnu en 1856.

Le minerai se présente au sein d'une couche de grès affleurant sur les bords de la mer et y formant, avec celles qui l'accompagnent, une falaise d'une grande hauteur.

Il consiste en cuivre carbonaté vert et bleu, quelquefois accompagné de cuivre oxydulé et de cuivre gris. Les analyses de M. Lamy ont constaté une teneur de 8 à 10 pour 100 de cuivre qui parfois devient beaucoup plus grande. 6,000 tonnes environ de minerai préparé, d'une valeur de 370,000 francs, en ont été extraites de 1860 à 1869 (Comptes rendus).

Cette mine est remarquable non-seulement par les produits qu'on en peut retirer facilement, mais surtout parce qu'elle appartient à cette formation métallifère déjà signalée en France, que nous avons montrée jalonnée par des exploitations diverses anciennes ou modernes.

Mine des Arméniers, plomb, cuivre et fer. — Cette mine, désignée dans quelques documents anciens, est située sur le chemin qui de Toulon conduit au cap Brun, à 3 kilomètres environ de la ville. Elle fut explorée en 1823 et bientôt abandonnée. Trente-trois ans plus tard, cette mine ne se manifestait au dehors que par quelques rares fragments de galène disséminés à la surface du sol, et la tradition seule faisait mention de son existence. Les anciens du pays parlaient de travaux exécutés jadis, qui eux-mêmes n'avaient été que la suite de travaux antérieurs attribués particulièrement aux Sarrazins.

Vers 1856, M. l'ingénieur Lamy en retrouva les traces et des travaux d'exploration y furent exécutés.

Près de la surface, au milieu des schistes talqueux, on reconnut un vrai chapeau de fer, composé de quartz, d'oxyde de fer, de pyrites ferrugineuses et cuivreuses et de mouches de galène, qui caractérisaient directement la présence du filon. La galène pure devint plus abondante en profondeur, et, dans le cours des explorations, on reconnut l'existence d'anciens travaux antérieurs à l'invention de la poudre.

Direction générale : N. E.-S. O. Presque vertical.

Puissance : plus de 1 mètre. Épontes argileuses.

Minerai : galène avec pyrite de cuivre et un peu de fer oxydé pyriteux.

En quelques points, d'après M. Lamy, on a trouvé plus de 1 mètre de galène massive. La galène lui a donné 75 pour 100 plomb et 90 à 100 grammes d'argent aux 100 kilos de minerai. Le cuivre n'a pas été recherché à cette époque, quoiqu'il ait une valeur réelle.

Ce filon, dont les travaux étaient délaissés vers 1870, et qui est encore aujourd'hui (1873) abandonné, par suite de désaccord entre les intéressés, peut vraisemblablement donner lieu à une exploitation utile, et, bien qu'il existe dans une sorte d'îlot de schistes cristallins, il y a tout lieu de croire qu'il se prolonge au-dessous ou dans l'intérieur même des grès rouges ou houillers qui circonscrivent cet îlot.

En 1872, les exploitations les plus importantes de ces contrées se sont portées sur les gisements de manganèse et sur les mines de fer, et les autres gîtes sont restés dans un délaissement presque absolu.

Néanmoins, d'après les quelques mots que nous venons d'écrire, on doit reconnaître que ce délaissement n'est pas encore absolument justifié.

Département des Alpes-Maritimes.

L'ancien comté de Nice, aujourd'hui l'un des départements de la France, offre un sol profondément accidenté et sillonné par des ravins profonds.

Le massif de la chaîne des Alpes-Maritimes, qui en constitue l'ensemble, haut de 3,180 mètres à son point le plus élevé, est composé de granites, gneiss, syénites, etc., sur lesquels viennent s'appuyer les micaschistes, talschistes, etc., traversés par de nombreux filons plus ou moins importants non exploités.

Ces terrains vont disparaître sous les roches secondaires et notamment sous le trias qui possède aussi des gisements métalliques et sous les étages tertiaires.

On y voit encore les traces d'anciennes exploitations, de cuivre, de plomb argentifère et de fer, que l'on fait remonter à l'époque romaine. Quelques-unes d'entre elles furent reprises dans le cours du siècle dernier, et actuellement (1873) de nombreux permis de recherches ont été accordés pour explorer des gîtes métallifères et carbonifères dans les communes de *Saint-Guillaume*, *Péone*, *Auvare*, *Rigaud*, *Puget-Rostang*, *Saint-Dalmas-le-Sauvage*, *Saint-Etienne*, *Saint-Sauveur*, *Roure*, *Saint-Martin-de-Lantosque*, *le Belvédère*, *Fontan*, etc.

Concessions et principaux gisements connus :

Du Cerisier, cuivre, commune de Lacroix. En exploitation en 1874.

Clay, cuivre, commune de Saint-Étienne, 204 hectares (1871). Travaux de reconnaissance.

L'Hubac de Jourdan, cuivre, commune de Deluis. En exploitation en 1874.

Cluchelier, cuivre, commune de Valdeblore. En reconnaissance en 1874.
Charontes, cuivre, commune de Rimplas. Id.
Rancels, cuivre, commune de Roure. Sans travail.
Saint-Pierre, plomb, commune de Péone. Travaux préparatoires en 1874.
Bois de la Garde, manganèse, commune de Biot. Concession de 1864, sur 538 hectares. Exploitée.

Gisements indiqués par M. l'ingénieur Dépine[1] *dans le comté de Nice :*

Pont de Roubert, cuivre.
Vallon du Furet, id.
Trésor d'Amen, id.
Cerisier, id.
Auvare, id.
Puget-Rostan, id.
Roubion, etc., id.
Valdeblore, id.
Cluchelier, id.
Col de Salèze, id.
Péone, plomb. Anciens travaux importants.
Fremamuorta, près de Moliéras, plomb (Syénites de Caïré).
Le Pisset, entre Saint-Martin-Lantosque et le col des Fenêtres, plomb
Environs *de Tende* (Italie), plomb.
Près de Tende, entre le col d'*Orno* et *Formosa*, zinc (Gény).
Saint-Sauveur, *Trémisiéros*, *Pont-Robert*, etc., cuivre.
Vallon de la Madone de *Fenêtre*, pyrite. Travaux anciens attribués aux Romains Gény).
Saint-Jean, cuivre.
Vallon du *Trésor*, arsenic, près de Lucéram.
Fontan, mercure, près de Tende. Dans les schistes métamorphiques.

D'après les descriptions données par M. Dépine, on peut juger que la plupart des gisements de cuivre de *Pont-de-Robert*, du *Furet*, du *Trésor-d'Amen*, *Cerisier*, *Auvare*, *Roubion*, etc., appartiennent à un même horizon que M. l'ingénieur Juge rapporte au terrain permien.

Ces gisements, dit M. Dépine, se trouvent toujours dans les mêmes circonstances. Les autres sont dans les gneiss et les granites.

Les premiers se présentent en couches intercalées dans des grès schisteux rougeâtres et des grès siliceux blancs.

Gisement de *Pont-de-Robert*. — Travaux anciens dans la vallée du Var. Ancienne fonderie des mines au moulin de Robert.

Trésor-d'Amen. — Travaux anciens, presque inaccessibles, dans un rocher qui surplombe à pic au-dessus du Var, à une grande hauteur.

1. *Essai sur la statistique minéralogique du comté de Nice*, 1822, reproduit dans l'*Annuaire des Alpes-Maritimes*, 1865. — *Note inédite* de M. Gény, 1874.

Ce gisement renferme plusieurs veines minces de cuivre natif et de diverses variétés de minerais de cuivre.

Cerisier. — Couche pareille à celle de Pont-de-Robert. Aujourd'hui en exploitation (1874). M. Dépine écrivait en 1822 : « Je ne pense pas que cette mine puisse seule faire l'objet d'une exploitation. » Les faits actuels montrent combien il faut de réserve dans ces assertions, car la mine du Cérisier produit aujourd'hui (1873) annuellement 450 tonnes de schlick à 25 pour 100 de cuivre. La production de cette mine augmenterait notablement si on pouvait porter les minerais par charrettes.

Auvare. — Vers la pointe de Mourragun et dans le vallon de Rubi, même gisement. Le minerai est un mélange de cuivre pyriteux, carbonaté, natif, en filets, courant dans toutes les directions et pénétrant les grès quartzeux. Les veines les plus épaisses avaient $0^m,3$ à $0^m,4$.

Roubion. — Gisement dans des couches de schiste argileux et de grès, renfermant des filets, dans tous les sens, de cuivre pyriteux et de cuivre carbonaté vert.

Valdeblore. — Indices de cuivre, que M. Dépine considérait comme peu importants.

Cluchelier, commune de Valdeblore. — Ancienne exploitation attribuée aux Romains, située vers le milieu de la montagne de *Trémiscieros*, à une lieue du village de la Bollène.

On y connaissait une grande galerie principale de 3 à 400 mètres de longueur et de 2 mètres à $2^m,50$ de hauteur, poursuivie au travers d'une série de couches de grès quartzeux et de schistes argileux pénétrés en tous sens par des veines minces de fer oligiste, ou de veines de quartz contenant du cuivre vert et gris.

Les minerais étaient fondus à Saint-Sauveur.

L'abandon des travaux aurait été dû, d'après M. Dépine, au peu d'abondance du minerai. L'exemple de la mine du Cérisier atténue l'effet de ces paroles. On y travaille (1873).

Salèze, à une lieue et demie de Saint-Martin-Lantosque. — Couches verticales dirigées N. S. d'une serpentine schisteuse.

Plusieurs de ces couches sont pénétrées de disséminations de pyrite de cuivre, quelquefois sur une épaisseur de 1 mètre.

On y voit une galerie, dite *des Romains*, d'environ 100 mètres de longueur.

« Cette mine, dit M. Dépine, serait abondante; mais, comme le mi-
« nerai y est fort disséminé, il faudrait, avant de l'exploiter, faire des
« essais pour s'assurer des produits que donnerait la fonte. »

Gisement de *Péone*, plomb. — Il avait été anciennement l'objet de deux attaques : l'une aux *fosses maquettes*, l'autre au point de jonction des torrents d'Aigueblanche et du Pacolet.

La première montre un gisement consistant en une couche intercalée dans des calcaires noirs veinés de blanc, liasiques.

Cette couche se composait, selon M. Dépine, de plusieurs autres :

1° Au toit, une argile grisâtre produisant au lavage 7 à 8 pour 100 de galène en grains.

2° Au milieu, une couche de galène en rognons dans une argile ferrugineuse rougeâtre. Puissance : 0,10 à 0,20.

3° Au mur, couche mince d'oxyde de fer, séparée du calcaire par une salbande argileuse rougeâtre.

La galène donne 56 pour 100 plomb. Elle est pauvre en argent.

La seconde attaque présente une couche de plomb blanc, ou plomb carbonaté terreux mélangé de galène, d'une épaisseur de 0,20, et ayant à son mur une couche argileuse rougeâtre de quelques centimètres avec rognons de galène.

Minerai : sa teneur était de 62 pour 100 de plomb.

De l'autre côté du torrent le Pacolet se montrent les restes d'anciennes exploitations et de nombreux déblais dans lesquels on trouve fréquemment des rognons de galène.

Les causes d'abandon de ces mines étaient inconnues. M. Dépine rapportait l'exploitation au siècle dernier et attribuait l'abandon, d'après la tradition, à la mort de l'exploitant.

Ces mines sont aujourd'hui (1874) en voie de reprise.

Frema-Muorta, près de Molières. — Endroit presque inaccessible. Filon de galène qui paraît peu important.

Le Pisset, à moitié chemin entre *Saint-Martin-Lantosque* et le col de *Fenêtres*. — Minces veines de galène et de cuivre pyriteux, assez riches en argent, intercalées dans le gneiss.

Elles ont été exploitées au commencement de la Révolution.

La galène était transportée à la fonderie de Tende.

Mine de Tende. — Elle est située en Italie; nous la rappelons ici parce qu'elle appartient à l'ancien comté de Nice.

Cette mine avait été travaillée anciennement par les Sarrazins. Reprise vers 1740, elle fut exploitée avantageusement jusqu'au moment de la Révolution française et depuis jusqu'en 1817, époque de son abandon.

Le gîte se trouve dans une roche quartzeuse et plus ou moins talqueuse, reposant sur le granite. Il est muni, au toit, d'une salbande argileuse.

Direction : E. O.

Inclinaison : 45 à 50°.

Puissance : variable.

Minerai : galène à grains d'acier disséminée dans la couche quartzeuse.

Galène à grandes facettes formant quelquefois, dans le sens de la couche, des amas de 15 à 20 mètres de puissance, et tenant 60 pour 100 de plomb, 833 gr. d'argent à la tonne de plomb.

Les travaux, très-étendus, se sont prolongés longtemps au-dessous des travaux les plus anciens. Ils sont sans doute en partie éboulés, mais M. Dépine y vit, en 1822, des vides considérables indiquant toute l'importance de l'ancienne exploitation. Cette mine, exploitée par des Anglais (1873), fournit annuellement 400 tonnes de minerai lavé.

Vallon du Trésor, arsenic. — Veines assez abondantes d'arsenic sulfuré jaune et rouge, dans le calcaire, près de Lucéram.

Fontan, mercure. — Il a été signalé à quelques minutes du Fontan, du côté de Tende. On n'a pas encore pu le découvrir malgré les recherches qu'on y a faites à plusieurs époques.

Mine de Biot, manganèse. — Production annuelle environ 1,200 tonnes.

En résumé, les gisements de cuivre, de plomb, de zinc et de manganèse paraissent être très-fréquents dans le département des Alpes-Maritimes. Quelques-uns d'entre eux y ont donné et donnent encore lieu à d'importantes exploitations.

L'absence des voies de communication y a été vraisemblablement une des principales causes du ralentissement de l'industrie minérale dans le siècle actuel. Cette difficulté est encore aujourd'hui si grande, que, dans les hautes vallées, les transports ne peuvent s'y faire qu'à dos de mulet.

L'ouverture de routes et de chemins vicinaux dans cette partie si négligée du département devient donc de plus en plus nécessaire, soit pour l'agriculture, soit pour l'exploitation des mines qui, sans eux, ne peuvent avoir qu'une existence précaire et qui, par eux, peuvent acquérir un grand développement.

La partie de la France où nous allons rechercher les gisements métallifères signalés jusqu'à présent comprend les départements suivants :

Tarn. **Aude.** **Hérault.**	MONTAGNES NOIRES ET CORBIÈRES.
Pyrénées-Orientales. **Ariége.** **Haute-Garonne.** **Hautes-Pyrénées.** **Basses-Pyrénées.**	PYRÉNÉES.

Les renseignements qui vont suivre seront presque exclusivement extraits des ouvrages divers publiés jusqu'ici sur les mines de ces contrées[1].

Département du Tarn.

Ce département, d'après M. de Boucheporn qui en publia la carte géographique en 1848, ne présenterait qu'un faible intérêt au point de vue des mines métalliques.

Cette opinion peut être vraie si on ne considère ces mines que d'après ce que nous en connaissons, car, en réalité, nous sommes tout aussi peu éclairés sur ce qui les concerne que sur ce qui se rapporte à celles d'un grand nombre de points de la France. Avant de nous exprimer d'une manière aussi nette et aussi peu favorable, il nous semble plus raisonnable d'attendre que des études essentiellement pratiques aient été faites de nouveau. Cela nous paraît d'autant plus sage que le Tarn possède le prolongement de montagnes que l'on retrouve dans l'Aveyron, l'Hérault, l'Aude, où se présentent de nombreux gisements susceptibles de production ; il possède la même nature de terrain, et on y rencontre des travaux anciens assez étendus où jusqu'à ce jour, autant que nous puissions le croire, on n'a pas encore pénétré depuis des siècles.

Ce département[2] se montre à nos yeux comme une sorte de vaste amphithéâtre dont la montagne Noire au sud, les monts de Lacaune à l'est, les montagnes de l'Aveyron au nord-est et au nord, forment l'enceinte demi-circulaire.

Les terrains tertiaires constituent la majeure partie de l'étendue de cette enceinte qui n'est en quelque sorte qu'un vaste plateau ondulé. On n'y voit apparaître qu'en quelques points, et sur de petits espaces, le terrain houiller de Carmeaux qui se prolonge au-dessous des terrains plus récents, les grès bigarrés et les couches jurassiques.

La partie montagneuse offre, dans la montagne Noire, un aspect bien différent. « Le sol se dépouille, ses accidents deviennent plus grandioses et plus agrestes ; ils vont jusqu'à l'âpreté la plus sauvage, et, de leurs cimes élevées, on voit la plaine de Castres, les montagnes aiguës de l'Hérault, les plaines du Languedoc, les Pyrénées et la mer.

Ces montagnes sont presque exclusivement formées de granites, de gneiss et micaschistes que traversent des amphibolites, des serpentines, des roches quartzeuses et porphyriques.

1. Les ouvrages consultés sont :

Histoire naturelle du Languedoc, par de Genssanne. — Dietrich, *Mines des Pyrénées*. — Palassou. — Travaux des ingénieurs des mines. — De Boucheporn, *Géologie du Tarn*. — De Mussy, *Géologie de l'Ariége*. — Anciens minéralogistes. — *Bulletin de la Société scientifique des Pyrénées-Orientales*, Morer, 1854. — Campanyo, *Histoire naturelle des Pyrénées-Orientales*, 1861.

2. De Boucheporn.

Le quartz constitue en plusieurs points des dykes qui se dressent au-dessus des schistes environnants dans des directions linéaires, comme ceux que nous avons signalés dans les départements voisins.

Les gisements métalliques connus dans le Tarn se trouvent particulièrement dans les gneiss et les micaschistes ou dans les schistes de transition.

Gisements connus :

Alban, manganèse. Concession de 1864, sur 388 hectares.
Berlats, id.
Mazamet, id.
Rosières, cuivre. Anciens travaux.
Environs d'*Alban*, plomb.
Vallée du *Dadou*.
Pomardel. Anciens travaux, cuivre et argent.
Montcouyoul. Id. id.
Plagnes, Id. id.
La Fenasse et le *Bey del Minter*, id.
Ambialet, vallée du Tarn. Anciens travaux.
Ruisseau de Biant. Anciens travaux.
Brassac-sur-l'Agout, plomb.

Manganèse. — Il semble former des amas au sud de Berlats[1], dans les calcaires de transition et au nord de *Mazamet*.

Mine d'Alban.— On y travaille un filon de 15 à 20 mètres de puissance, à *Alban*, coupant presque verticalement les schistes micacés, et renfermant, avec l'oxyde de manganèse, du quartz, du fer oxydé hydraté, du sulfate de baryte et des halloysites. Le minerai y consiste principalement en pyrolusite terreuse plus ou moins mélangée d'autres oxydes et en pyrolusite et psilomélane concrétionnées.

Il contient, dans certaines parties du filon, beaucoup de baryte. Ordinairement le fer oxydé et le quartz n'y sont pas mélangés, et ils forment comme deux filons entre lesquels le manganèse se trouve intercalé sur plusieurs mètres d'épaisseur.

Un aussi remarquable gisement nous semble montrer que la contrée qui le renferme est éminemment métallifère.

Cette idée paraît tout à fait confirmée par les nombreux affleurements ferrugineux signalés dans les montagnes dominant le Dadou, dont quelques-uns, exploités anciennement, ont laissé comme souvenirs de l'existence des travaux, de nombreux amas de scories, dont d'autres, aux environs de *Lacaune*, *Saint Pierre-de-Trévizy*, *Saint-Paul-de-Barbotogne*, etc, d'après M. Boucheporn, « n'ont jamais fait que de mauvais fer. Quelle

1. De Boucheporn.

en est la cause, ajoute-t-il, c'est ce que l'on ignore. On a dit que cela tenait au cuivre qui y était renfermé. »

Par une coïncidence singulière, le mineur de Genssane fait remarquer[1], précisément à propos de ces gisements, que généralement les mines de fer surmontent les minerais de cuivre, et que plusieurs des affleurements qu'on rencontre dans le Tarn doivent appartenir à des filons de ce dernier métal.

Rosières. — Cette mine est située près de la mine de houille de Carmeaux. On voit encore aujourd'hui les déblais quartzeux qui en furent extraits anciennement; et, dit-on, au temps des Romains. On y trouve des colorations cuivreuses qui tendent à faire croire que les minerais y consistaient en carbonates et en pyrites de cuivre.

La Société des mines de Carmeaux a tenté d'en épuiser les eaux qui les remplissent; mais elle y a renoncé, et, depuis cette époque, ces travaux sont restés dans l'abandon le plus complet.

Gisement. — Il paraît consister en un filon quartzeux vertical montrant son affleurement au travers des schistes de transition sur 500 mètres de longueur dans la direction N. 30 O.

D'après l'auteur de la note des comptes rendus de 1846, cette exploitation paraîtrait pouvoir être reprise avec chance de succès.

Montcouyoul. Plagne. — Aux environs de ces deux pays, dit *Genssane*, près Granval et près Saint-Jean-de-Janès, on voyait en 1755 plusieurs ouvertures de mines dans lesquelles déjà on ne pouvait plus pénétrer. Elles paraissent être, dit-il, des mines de fer; mais les morceaux de minerai de cuivre que nous avons trouvés nous font croire que ces exploitations étaient sur des gîtes de ce métal. On sait, dit-il, que les mines de cuivre sont toujours recouvertes par le fer.

Pomardel. — Presque au sommet du vallon du Dadou, et sur la droite de ce vallon, Genssane a constaté l'existence de travaux anciens considérables; il a pénétré, sur plus de cent mètres, dans une galerie qui, au fond, était obstruée de décombres; il n'a pu reconnaître la nature du minerai qu'on y extrayait et n'a pu distinguer, au milieu de ces travaux, qu'une veine de six pouces d'épaisseur de minerai ferrugineux et terreux qui se changeait en quartz.

Environs d'*Alban.* — Deux filons de plomb.

Ambialet. — Manganèse dans le territoire de ce pays; travaux anciens considérables sur deux principaux filons. « Le filon ou veine qu'on a exploité, dit Genssane, dans un de ces travaux, a environ un pied de

1. *Histoire naturelle du Languedoc.*

large à la surface du sol : c'est un quartz entremêlé de mines de fer; mais cette mine est une vraie mine de plomb, de cuivre et d'argent, comme on peut le reconnaître par les différents morceaux ou échantillons de ces minéraux qu'on rencontre dans les décombres.

Les filons se dirigent de l'est à l'ouest.

On y a pratiqué plusieurs percements à différentes hauteurs de la montagne, ce qui donne une preuve constante que le minerai y était abondant. Les études récentes semblent devoir faire considérer au moins un des filons d'Ambialet comme mine de fer manganésifère.

La *Fenasse*[1] sur le Dadou.—Travaux anciens et décombres sur un puissant filon de plomb. « Il y a dans cet endroit un ruisseau appelé *Bey del Minier*. On y trouve encore des anciens travaux dans lesquels on ne peut pénétrer. Ces deux mines, dit Genssane, méritent attention.

Brassac. — Des filons de galène existent dans la bande schisteuse qui se trouve entre le granite de *Sidobre* et celui des montagnes de *Brassac*. D'après M. Cordier, on en a exploité un anciennement au nord de cette ville. Ce gisement y consisterait en une couche de calcaire métallifère de 4 à 5 mètres d'épaisseur dans les schistes de transition. La galène est pauvre en argent; on y a encore travaillé de 1790 à 1795.

La galène, le quartz, la pyrite de fer et la chaux carbonatée s'y présentent tantôt parallèlement aux couches ou en filons qui les coupent dans la direction N. S.

Enfin les eaux abondantes des vallons et le voisinage des houillères de Carmeaux peuvent donner, sinon à tous, au moins à quelques-uns des gîtes que nous avons désignés, une certaine importance et particulièrement aux gisements de cuivre, qui paraissent y être en rapport avec des filons de fer, exploités dans les temps anciens et, pour la plupart, également abandonnés comme ceux de la montagne Noire, à cause de l'imperfection des voies de communication.

Département de l'Hérault.

Au sujet des départements de la Lozère et du Gard, nous avons déjà parlé d'un puissant massif montagneux qui les traverse sous le nom de Cévennes. Ce même massif se poursuit dans l'Hérault, sur sa limite avec les départements du Tarn et de l'Aveyron, et s'y relie avec les montagnes Noires, qui s'étendent vers les Corbières; il y forme en quelque sorte le bord de la Méditerranée, sur lequel viennent s'appuyer les terrains, souvent tertiaires ou lacustres du littoral ou des environs de Montpellier.

1. Nous n'avons pas pu retrouver ce lieu qu'indique de Genssane.

Ces montagnes, profondément accidentées, sont presque entièrement composées de schistes cristallins et de terrains siluriens et dévoniens que l'on retrouve dans beaucoup d'endroits, et notamment aux environs de Roujan et de Neffiez, reconnus pour la première fois par MM. Graff et Fournet, et qui vont disparaître sous les roches triasiques et jurassiques.

Ces terrains sont traversés par des roches porphyriques en plusieurs endroits, sillonnés par des dykes quartzeux, et, sur un grand nombre de points, on voit des pitons et des épanchements volcaniques qui ont donné à la contrée ses derniers reliefs et ses dernières formes extérieures.

Ces quelques mots suffisent pour montrer que le département de l'Hérault possède des circonstances géologiques qui, jusqu'ici, ont été considérées comme favorables à la production des substances métalliques.

Un grand nombre de travaux anciens y montrent encore aujourd'hui leurs vestiges sur une étendue de plus de quarante kilomètres, sur des gisements de plomb, argent et cuivre, particulièrement répandus dans les montagnes que bordent les rivières de Bédarieux et de Saint-Pons.

Concessions métallifères du département :

Lunas et *Joncels*, cuivre. Concession de 1830, sur 1142 hectares. Arrondissements de Lodève et Béziers.

Sirieis, cuivre. Concession de 1832, sur 1971 hectares. Arrondissements de Lodève et de Béziers.

Avène, cuivre. Concession de 1832, sur 2160 hectares. Arrondissement de Lodève.

Bousquet, cuivre. Concession de 1832, sur 1668 hectares. Arrondissement de Béziers.

Villecelle, cuivre, plomb, zinc, argent. Concession de 1865, sur 4244 hectares. Arrondissement de Béziers.

Vieussan, cuivre, plomb, zinc, argent. Concession de 1860, sur 2270 hectares. Arrondissements de Saint-Pons et Béziers.

Rongas, plomb. Concession de 1834, sur 146 hectares. Commune de Saint-Gervais.

Lamothe, manganèse. Concession de 1843, sur 213 hectares. Commune de Féline-Hautpoul.

Cabrières, cuivre, plomb, argent. Concession de 1862, sur 603 hectares. Arrondissement de Béziers.

En 1870, avant la guerre, toutes ces concessions étaient inactives, abandonnées depuis plus ou moins d'années, et on ne comptait qu'un seul travail de mines sur un gisement de galène et blende, situé à *Riols*, près Saint-Pons.

Les gisements connus, soit dans les concessions sus-indiquées, soit au dehors, dont les noms sont donnés par les documents que nous avons

sous les yeux, et ceux qui furent signalés par la baronne de Beausoleil[1] ou par de Genssane[2] sont les suivants :

Avène, cuivre, près des limites de l'Aveyron.
Joncels, cuivre, sur le Graveson.
Lunas, cuivre. Anciens travaux.
Sirieis, Id. id.
Boussagues, Id. id.
Bousquet, Id. id.
Die, Id., rive gauche de l'Orb.
Lamalou. Concession de Villecelle, cuivre, plomb, argent. Travaux anciens considérables.
Pradal, environs de Villemagne, id., plomb, argent. Travaux anciens considérables.
Rongas, plomb, près Saint-Gervais sur la mare.
Caroux, près Colombières. Anciens travaux.
Environs d'*Hérépian*, Id.
Le Poujol, Id.
Colombières, Id.
Vieussan, cuivre.
Mas Blanc, près Vernonbrel, cuivre.
Saint-Étienne-de-Marsan, sur la mare. Anciens travaux.
Clairac, entre Boussagues et Bédarieux, plomb, blende.
Cabrières, cuivre. Anciens travaux.
Mas de l'Église, entre Saint-Pons et Olargues, cuivre. Anciens travaux.
Riols, près Saint-Pons, plomb, argent, blende. Filon découvert en 1820.
Puech-Saint-Sauveur, cuivre et argent. Anciens travaux.
Bois des Clusels, id.
Montagne de Vialais, au-dessus de Douts, plomb, argent (Genssane).
Lamothe, manganèse.
Estaussan, vallée de l'Orb, au-dessous de Vieussan.
Saint-Bausilé, au-dessous de Ganges, or (Genssane).
Montpellier, mercure, signalé dans les marnes argileuses tertiaires.

On ne possède aujourd'hui, je crois, que bien peu de documents relatifs à la date de ces exploitations anciennes, dont quelques-unes remontent à une époque éloignée, et les seuls que nous connaissions ont été donnés par Gobet[3].

1157. — Le roi Louis le Jeune donne à Pierre de Lodève les droits régaliens sur tout le diocèse, c'est-à-dire le droit de frapper monnaie sur toutes les mines d'argent qui s'y trouvent.

En 1164, le vicomte de Béziers possédait un tiers des mines « argentariæ vel minariæ quæ fuerunt inventæ *Fauqueria* usque ad castrum « *Pozols*, usque ad *Montmaires*. » C'était une étendue limitée par les pays de *Fougères*, *Mercairol*, *Le Poujol*, *Boussagues*, *Bédarieux* et *Soumartre*, par-

1. La restitution de Pluton, 1630.
2. *Histoire naturelle du Languedoc*, 1775.
3. Anciens minéralogistes.

tagée par la rivière d'Orb, et comprenant toutes les mines de Villecelle, Villemagne, etc.

1201 : — Le vicomte de Béziers donne une part des droits qu'il avait sur les mines de *Cabrières*, et il donne à gage les mines de Villemagne et d'Albi.

Ces notes, tout incomplètes qu'elles soient, montrent que les mines de l'Hérault furent activement travaillées pendant le moyen âge. Villemagne, qui est aujourd'hui un très-petit village, a possédé jadis un hôtel des monnaies. On l'appelait autrefois Largentière, et on voit encore aujourd'hui la façade de l'hôtel.

Les mines d'*Avène*, de *Sirieis*, de *Lunas* et de *Bousquet* présentent de nombreux filons peu puissants de cuivre carbonaté, pyriteux et de cuivre gris, insérés dans les schistes de transition et pénétrant dans le granite. Plusieurs d'entre elles ont été anciennement travaillées à une époque ignorée. On les reprit en 1770 et en 1781, et plus tard vers 1830[1].

Pradal. — Village situé au-dessus de Villemagne. Anciens et vastes travaux sur une mine de plomb et argent. « Tous les travaux, dit Genssane, qui se trouvent au-dessus du niveau de la petite rivière de Mare, qui passe au pied de la montagne, et qui sont immenses, subsistent encore dans leur entier (1775). Ils ont été poussés fort au-dessous de la rivière; mais cette partie est submergée. On a dû en extraire des quantités prodigieuses de métal. » Quelque vastes que soient ces travaux, ajoute-t-il, il s'en faut de beaucoup que nous croyions ces mines épuisées. On pourrait les attaquer de l'autre côté de la rivière d'Are, ou mieux encore au-dessus du village de Pradal. En remontant la rivière de Mare, sur la rive droite, on voit encore aujourd'hui les nombeux vestiges de ces travaux.

Environs d'Hérépian et Poujol. — « Il règne dans cette partie du vallon, tout le long de l'Orb, une quantité de mines de cuivre, d'argent et de plomb. La montagne de Lamalou est criblée de toutes parts par le nombre de prodigieux travaux qu'on y a pratiqués anciennement. »

Ces mines, qui appartiennent à la concession de Villecelle, furent reprises dans ces dernières années sur le filon principal que l'on y connaît; mais ces travaux étaient suspendus en 1867; on avait craint de compromettre les filons aquifères qui donnent naissance aux sources thermales de Lamalou, situées dans le voisinage[2], et qui recoupent les filons métallifères.

Mais, « chose rare en pareille circonstance », dit M. Camille Saint-Pierre[3], le filon est assez riche pour que la Compagnie ait pu rentrer dans ses frais de recherches et suffire à ses dépenses d'installation par la vente des déblais. »

1. Comptes rendus.
2. Rapport du Jury. Exposition de 1867.
3. *L'industrie du département de l'Hérault*, 1865.

Du côté de *Boussagues* et de *Saint-Etienne-de-Marsan*, il y a sur la haute montagne de Moncondour « quantité d'anciens travaux sur des mines de cuivre, azur et argent. Travaux de même nature à la montagne opposée, appelée le *Puech de Saint-Sauveur*. « Nous avons trouvé, sur les dé- « combres de cette dernière montagne, quelques morceaux d'un minéral « connu en Allemagne sous le nom de *fiente d'oye*, qui est ordinairement « fort riche en argent; il n'y a que peu de temps qu'on pouvait encore « entrer dans les travaux de cette montagne; mais les éboulements « qui s'y sont faits depuis peu ne permettent plus d'y pénétrer (1775). »

Riols et *Oulargues*. — D'après Genssane, entre Saint-Pons et ces pays, au lieu de *Cassillac*, il y a une mine de cuivre importante. Le minerai, qui peut donner 22 à 25 p. 100 de cuivre, est de la nature des cuivres gris ou *phalerz*.

Mas-de-l'Eglise. — Au lieu appelé les *Fonts*, mine de cuivre qui pourrait être le prolongement de celle de Cassillac.

Vieussan. — Anciennes mines, reprises dans ces dernières années, et abandonnées en 1860.

Mas-Blanc. — Mines de cuivre de Vernonbrel. Découverte en 1866. On y reconnut deux filons dans le trias ayant une puissance de 1 mètre à $0^{m},30$ et dirigé sur les heures 12 et 5 ou à peu près N. S. et E. O. La gangue est quartzeuse et le minerai est composé de cuivre carbonaté vert ou bleu, cuivre gris et cuivre phosphaté et arséniaté. Le rendement en cuivre est de 30 p. 100.

Estaussan. — Manganèse; filon de 2 mètres de puissance.

Environs de *Neffiès*. — On y voit un développement considérable de terrains siluriens et dévoniens que traversent plusieurs filons quartzeux et cuivreux. L'un d'eux, tracé par M. Fournet, sur sa carte des terrains houilliers de Neffiès, se montre sur une longueur de plus de 12 kilomètres, entre les routes de Castres à Agde et de Clermont à Béziers; c'est dans cette contrée que se trouve aussi la mine de *Cabrières*, qui fut attaquée, dans ces dernières années, au voisinage d'anciens ouvrages, et sur la montagne de la *Rossiguole;* ces travaux ont été abandonnés en 1862.

Saint-Bausile. Or. — Genssane parle d'un gisement aurifère qui, peut-être, n'offre pas tout l'intérêt que la description qu'il donne semble indiquer; néanmoins nous croyons utile de résumer les détails que nous retrouvons dans sa description du Languedoc.

Saint-Bausile est situé à peu de distance de *Ganges*, sur les bords de l'Hérault qui, ainsi qu'on le sait depuis longtemps, roule des paillettes d'or dans cette partie de son parcours, au-dessous de l'affluent du Riou-

tort, venant du côté de Sumène, dans le Gard. D'après les observations de Genssane, qui voyait alors travailler des orpailleurs sur l'Hérault, l'or existerait particulièrement dans les fêlures d'un calcaire ocreux, régnant dans toute la plaine de Saint-Bausile, au niveau de la rivière. Y ayant fait sonder, il tira de l'une de ces fêlures une boue remplie d'un sable noir composé de grains ferrugineux entièrement semblables, dit-il, à ceux qui se trouvent dans les terres aurifères des environs de la Cèze (Gard). Ces sables ayant été lavés, il y aperçut « quantité de très-belles paillettes d'or mêlées dans le sable noir, au fond du plat. »

Genssane constate que ces grains métalliques ne sont autres qu'un minerai de fer ou fer oxydulé que l'on sait exister généralement dans toutes les alluvions aurifères. Mais, ce qui paraît intéressant dans ses observations, c'est qu'il ajoute :

« Il serait de la plus grande importance de sonder l'épaisseur de ce banc; car, si, comme il y a tout lieu de le croire, il avait une profondeur un peu considérable, il est hors de doute qu'il sera plus riche à mesure qu'il sera plus profond, et il est déjà assez riche à sa surface pour mériter une attention particulière. Les paillettes y sont nombreuses et fortes, et, d'ailleurs, l'espèce de bourbe dans laquelle ces paillettes se forment dépose au lavage, outre les grains ferrugineux, un sédiment noir qui nous paraît renfermer beaucoup d'or sous une espèce de rouille ferrugineuse. »

Ce fer, dont il parle, ne contient, dit-il, que *depuis une jusqu'à deux onces d'or au quintal tout au plus*. Or, en admettant le quintal ancien comme valant 48 kilogrammes et l'once à peu près 30 grammes, nous voyons que la teneur des boues ferrifères lavées serait, d'après l'appréciation de Genssane, de 62 à 124 grammes d'or, ou d'environ 200 à 400 francs aux 100 kilos qui, s'ils existaient sous un mètre carré de surface, donneraient à un hectare de terre une valeur de deux à quatre millions.

Il semble qu'un pareil résultat, indiqué par un homme dont le caractère était réputé et honoré, mérite une sérieuse attention, et quelques sondages peu coûteux auraient bientôt résolu une question d'un grand intérêt.

Nous devons rappeler à cette occasion que Strabon et, d'après lui, Agricola (1550), dans son livre sur les mines antiques et modernes, dit qu'il y eut des mines d'or travaillées par les Tectosages, *in monte Cemmeno*, près Narbonne. Les recherches sur la situation de cette montagne nous ont conduit à voir les Cévennes dans le mot *Cemmeno*. C'est l'interprétation qu'en donnait Guillaume Budé dans son livre *de Asse*, 1524. Les mines d'or des environs de Narbonne, signalées aussi par la baronne de Beausoleil, paraissent donc devoir se trouver dans les Cévennes ou à leur pied, et se rapportent probablement à celles de Saint-Bausile. Il est curieux, d'ailleurs, de trouver cet or non loin de Sumène, qui n'est peut-être lui-même qu'une dérivation du mot Cemmeno; et ce rapprochement tend

peut-être à donner au gisement des environs de Saint-Bausile une certaine importance. Dans tous les cas il semble raisonnable de penser qu'il pourrait être utile de faire des recherches dans ces contrées, au point de vue de l'or.

Il nous reste à dire que le département de l'Hérault, qui possède le riche dépôt houillier de Graissessac et celui de Neffiès, est sillonné de chemins de fer, dont l'un, celui de Saint-Pons à Bédarieux, semblerait surtout devoir exercer une certaine influence sur le développement des mines métalliques échelonnées à peu de distance dans les montagnes qui le bordent.

Département de l'Aude.

On y distingue deux principaux massifs montagneux qui sont : au nord de Carcassonne, les *Montagnes Noires*, aux limites du département du Tarn, se rattachant aux Cévennes et se reliant aux Pyrénées par les montagnes situées à l'ouest de Limoux, aux confins du département de l'Ariége, et les *Corbières*, comprises entre les vallées de la *Boulzane* et de l'*Aude*.

Ce second groupe est découpé par un grand nombre de petites vallées sinueuses, étroites et profondément encaissées entre des talus rapides. Fréquemment ces talus se terminent par des crêtes abruptes et quelquefois crénelées comme de vieilles fortifications démolies[1].

La partie des Corbières qui se rapproche le plus des Pyrénées est connue sous le nom des Hautes-Corbières où sont le mont Tauch et le pic de Buzarach.

C'est dans les montagnes Noires et dans les Hautes-Corbières que se présentent un grand nombre de filons métallifères de plomb, cuivre, argent, antimoine, etc. Le fer se trouve aussi dans le département en beaucoup de points, et il y a été dans les temps anciens l'objet d'exploitations considérables qui montrent encore aujourd'hui leurs traces au sein des montagnes. Dans le cours du siècle actuel les mines métallifères proprement dites ont été presque entièrement délaissées, mais les nombreux vestiges d'anciens travaux montrent qu'elles ont eu une ou plusieurs époques de grande activité.

On ne possède aujourd'hui, je crois, que bien peu de documents sur ce qui les concerne. De nombreux travaux, dont on voit encore aujourd'hui les traces, faits avant l'invention de la poudre et à l'aide du feu, sont attribués aux Sarrasins pendant leur occupation des Corbières. Les mines abandonnées après leur expulsion durent être reprises au temps du moyen âge, ainsi que cela résulte d'un jugement arbitral (1191) relatif

1. Leymerie. *Mémoire sur les terrains nummulitiques des Corbières et de la Montagne-Noire* (Aude), 1844.

à la prétention des vicomtes de Béziers à la moitié du produit des mines de Palayrac et de Termenez. Délaissées plus tard par suite de causes très-complexes que nous ignorons, mais qui, dans beaucoup de cas pouvaient provenir de l'approfondissement des travaux et de l'imperfection des moyens, elles furent reprises vers 1667. Les travaux de cette époque n'ont eu qu'une faible durée.

.Enfin, après des tentatives diverses dans le cours du siècle dernier, elles paraissent avoir été généralement oubliées, et c'est seulement depuis quelques années qu'on a pensé à en reprendre quelques-unes et particulièrement celles de Padern et de Montgaillard qui sont aujourd'hui (1873) en activité.

Nous devons remarquer que le département de l'Aude fut un de ceux du midi de la France qui furent le plus cruellement frappés par la manie du défrichement de 1789 à 1825. Là où pendant le moyen âge régnaient d'immenses forêts suffisantes pour alimenter les usines sur place, on ne vit plus de notre temps que des montagnes pelées et dénudées. Ces circonstances et l'absence de voies de communication pendant la majeure partie du siècle actuel semblent suffire pour expliquer l'abandon des mines de ces contrées et les difficultés qu'ont dû rencontrer ceux qui ont voulu en tenter la reprise à plusieurs époques.

Concessions et gisements du département de l'Aude.

Padern et *Montgaillard*, cuivre, plomb, argent, etc. Anciens travaux. Concession de 1872, sur 1428 hectares.

Auriac, cuivre et autres métaux. Anciens travaux, 1859, sur 1175 hectares.

La Pouzzanque (arrondissement de Limoux), manganèse, 1839.

Villeneuve-les-Chanoines, plomb et argent. Anciens travaux, 1844, sur 1590 hect.

Villerambert, manganèse,		Id.	1838, sur	122 hect.
Saint-Andrieu,	id.	Id.	1838,	24 —
La Féronnière,	id., près d'Arques,	Id.	1835,	495 —

Col de *La Bousole* (Palayrac), cuivre, plomb, argent, antimoine. Anciens travaux, 1838, sur 37 hectares.

Maisons, antimoine, gîte du Pech de las Carbos, 1813. Anciens travaux.

Mas de Cabardez, cuivre. Anciens travaux?

Salsigne, et environs arrondissement de Carcassonne, cuivre.

La Caunette, id., plomb et argent. Travaux anciens.

Lanet, près Monthoumet, cuivre. Anciens travaux.

Environs de *Davejean*, cuivre, argent, plomb. Travaux anciens considérables.

Environs de *Quillan*, cuivre, plomb argent. Anciens travaux.

Montjoi, environs de Monthoumet, plomb, argent.

Roques-Negros, plomb, argent, près des bains de Rennes. Anciens travaux.

Feugerolles, cuivre et argent. Anciens travaux. Mine abandonnée en 1795 par suite des événements[1].

Quintillan, antimoine sulfuré argentifère.

1. Comptes rendus.

Les renseignements que nous avons recueillis sur les mines du département de l'Aude proviennent principalement de l'*Histoire naturelle du Languedoc*, par de Genssane. Nous y joindrons les quelques observations personnelles que nous avons eu occasion d'y faire.

GISEMENTS DANS LES MONTAGNES NOIRES

La Louvetière, situé au haut de la montagne Noire. — On y connaît une mine de plomb qui paraît assez riche en argent.

Mas de Cabardez. — Aux environs de ce pays on travaillait une mine de cuivre vers 1663. César d'Ascons[1], envoyé à cette époque, y fit cesser les travaux commencés.

En 1872 on travaille dans la même contrée.

Salsigne, Villanière, Lastour. — Dans cette localité on rencontre de puissants gisements de minerai de fer qui furent anciennement l'objet de travaux très-étendus De Genssane cite « au-dessus du village de *Salsigne*, à peu de distance des mines de fer, plusieurs filons de mine de cuivre qui paraissent intacts. L'un d'eux a été à Lastour l'objet de quelque travail en 1843.

Entre *Salsigne* et *Lastour*, une veine de cuivre qui se montre au pied de la rivière et règne diagonalement le long de la côte jusqu'à son sommet.

Cette veine a été travaillée anciennement, mais les travaux étaient comblés. Selon de Genssane, elle n'est pas considérable, mais le minerai y est de très-bonne qualité.

Dans les mêmes lieux, « un filon arsénical de plus de quatre pieds de largeur. »

La Caunette, à peu de distance au-dessous de *Salsigne*. — César d'Ascons, dans son Mémoire de 1667 sur les mines dont il eut la direction pour le service du roi, rappelle qu'à la Caunette il y avait une mine d'argent que le seigneur du lieu y avait fait travailler jusqu'à ce qu'elle fût inondée, et que l'on avait commencé une galerie d'écoulement au pied du château.

Aujourd'hui, croyons-nous, on tire du minerai de fer de ce même endroit, et de Genssane donne une description très-intéressante du gisement, avec quelques détails sur la mine argentifère dont on ne connaissait l'existence que par tradition.

Déjà à l'époque où il parle, il y a près de cent ans, la mine de fer avait été l'objet de travaux considérables et, suivant lui, on en avait tiré jusqu'alors une quantité prodigieuse de minerai, mais on ignorait la situation de la mine d'argent.

Après avoir pénétré à plus de cent trente pieds de profondeur, il fit

1. Anciens minéralogistes.

découvrir un puits intérieur ouvert dans la mine de fer qui reconduit sur des travaux « exécutés avec la plus grande régularité et tels, disait-il, « qu'on les exécute encore aujourd'hui dans les mines d'argent, de « cuivre ou de plomb qu'on exécute en règle. Il y a des *kastes* ou plan- « chers sur lesquels on met les mauvais décombres qu'il serait trop « coûteux de sortir dehors : et ce qui nous a paru bien plus surprenant, « c'est que les bois de chêne vert qui contiennent ces planchers y sont « aussi sains que si on venait de les y mettre, quoiqu'il y ait plus de quatre « cent soixante ans qu'ils y sont placés.

« Tous ces ouvrages sont remplis d'eau très-claire, le filon y est très- « bien réglé. Il a son toit et son lit bien détachés. Sa puissance est de « quatre ou cinq pieds. Inclinaison 45 à 50°. »

Le chiffre de 1316, gravé sur le toit de la veine, indiquait la date de ces travaux.

Un échantillon provenant de la partie inférieure des excavations, analysé par M. Vène, a donné 230 grammes argent aux 100 kilos de cuivre et de plomb.

C'est dans la même contrée que se trouvent les mines de plomb et argent de *Villeneuve-les-Chanoines*. Des recherches y ont été faites en 1839. La galène rendait 30 grammes argent aux 100 kilos (Vène).

Environs de Quillan. — Cette partie du département de l'Aude possédait dans le siècle dernier une certain nombre de forges alimentées par des minerais de fer qui y constituent des gisements importants situés, sans doute, sur le prolongement de ceux de l'Ariége. De Genssane a signalé dans ces hautes montagnes plusieurs filons de cuivre, plomb et argent, etc.

La Fajolle. — Filon de cuivre.

Salvesines, aux limites des Pyrénées-Orientales. — Plusieurs filons de cuivre, dont un descend dans le village même. Blumenstein y fit travailler pendant quelques années.

Toutes ces mines, dit de Genssane, sont « la plupart du genre des malachites ou terres vertes, et sont très-bonnes. » On y a reconnu le cuivre natif.

La tradition rapportait encore que près du même pays avait été exploitée une mine d'*or*. La mine qui jouissait de cette réputation est située au-dessus de *Salvesines*, en face du *Mas-del-Connils*. Le minerai tel que le vit Genssane se présentait sous forme d'une veine ferrugineuse de six pouces de largeur, dirigée vers le S. O. C'est une pyrite « ressemblant parfaitement à la mine de la vallée d'Aoste. » On y voyait alors les traces de travaux anciens, et autour des ouvertures comblées on remarquait quantité de débris de creusets.

Bugarach. — Près de ce village, mines de plomb et mines de fer comme aux environs de *Salvesine*.

Montferrand. — Près des bains de Rennes, travaux anciens considérables sur des mines de cuivre, plomb et argent, surtout aux montagnes de *Cardon* et de *Roquenère* ou *Roques-Negros*. Tous ces travaux étaient comblés.

A l'époque où écrivait Genssane, aucune route ne traversait ces contrées ; aujourd'hui il en existe une excellente qui atteint les bains de Rennes, et les chemins de fer du Midi pénètrent à peu de distance jusqu'à Limoux, pouvant se prolonger au delà. Il est donc possible d'espérer que les mines qu'on y rencontre y soient plus profondément étudiées, et qu'on y voie renaître l'activité des temps passés.

Environs de Monthoumet. — La partie du département de l'Aude, dont nous allons parler, est éminemment remarquable par le nombre et l'importance des travaux anciens qu'on y rencontre sur des mines de plomb, argent, cuivre et manganèse.

On y voit un développement considérable de terrains schisteux de transition, formant au dehors une sorte de bande courant de l'est à l'ouest, mais en réalité s'étendant au-dessous de toutes les montagnes, probablement siluriens et dévoniens, recouverts sur les sommets par de puissants calcaires néocomiens.

Mines de *Lanet*.— On peut y observer encore quelques traces d'anciens travaux. C'est une des mines de cuivre qui furent travaillées dans le dix-septième siècle vers 1660.

D'après César d'Ascons, on y explorait un filon de plus d'un pied d'épaisseur et « sept quintaux de minerai donnaient un quintal de cuivre et quatre marcs d'argent, » ou environ 14 pour 100 de cuivre, et 290 gr. d'argent aux 100 kilos. On signale encore plusieurs filons de cuivre en remontant de *Lanet* vers *Bouisse*. Ils furent travaillés vers 1796.

Auriac. — A peu de distance de Lanet se trouve la concession d'*Auriac* située dans un pays fort accidenté et qui, en 1872, était privée de routes carrossables.

Près du château ruiné d'Auriac, le long de la montagne sur laquelle il se trouve, on a reconnu un filon principal barytique encaissé dans des calcaires qui recouvrent les schistes de transition. Ce filon a été attaqué par des travaux anciens pratiqués avant l'usage de la poudre. On peut le suivre sur une assez grande étendue.

Les travaux éboulés ou comblés près de la surface ne permettent guère de juger de sa puissance qui semble dépasser un mètre.

Direction : N. 75 à 80 E. M. — Salbande terreuse remplie de fragments de la roche encaissante, de 0,30 à 0,40 d'épaisseur.

Les déblais accusent la présence du cuivre gris argentifère. Ces filons doivent pénétrer dans les schistes, et ils y présenteront probablement des caractères de plus en plus sérieux. Il est regrettable qu'on n'ait pas employé à y parvenir les sommes dépensées. Les résultats auraient sans doute été bien différents.

Dans ces dernières années, divers travaux ont été faits dans l'étendue de cette concession. On a attaqué le filon dont nous venons de parler par plusieurs galeries qui nous ont paru toutes trop rapprochées des affleurements.

Il est probable que la rencontre des travaux anciens dans plusieurs points, la difficulté des communications ou celle de se procurer des ouvriers dans un pays peu habité ont été les principales causes de l'état d'abandon dans lequel se trouvèrent ces mines en 1872.

D'après les renseignements qui nous ont été donnés, et que nous mentionnons sans en certifier la vérité, il y aurait dans le même groupe de montagnes, entre celle de *Las Picos* et celle de *Génevreite*, un endroit qu'on nomme l'*Argentière*, à trois quarts d'heure du chemin d'*Auriac*, où existeraient des travaux anciens qui paraissent considérables. On a cherché à y pénétrer, mais on n'en aurait pas encore vu le fond.

Planal-des-Horts. — *Antimoine*. — Dans cet endroit, situé sur un plateau, entre *Auriac* et *Massac*, en suivant le chemin de Lauradieu, on rencontre une série de vastes entonnoirs indiquant les éboulements d'anciens travaux de mines. Ces éboulements, à la surface, se poursuivent sur une distance d'au moins un kilomètre ; ils sont alignés dans la direction à peu près N. S. ; on les trouve dans des grès paraissant appartenir au trias et reposant sur les schistes qui remplissent le bas des vallons. On ne voit rien à la surface indiquant la nature du minerai extrait, et on y trouve seulement, au milieu des bruyères, de nombreux fragments de roches ferrugineuses et de quartz.

A peu de distance de ces travaux, à la métairie des *Horts*, on voit un gros tas de scories où l'on fondait les minerais que l'on en extrayait. Ces scories, et des débris de pots qui y sont mêlés, signalent un gisement d'antimoine. Tout y indique l'existence d'une puissante mine. Malheureusement en ce moment (1872) les routes y font complétement défaut.

En descendant de la métairie des *Horts*, vers Montgaillard, on trouve encore des vestiges d'anciens puits comblés au lieu dit *Las Perières*.

Soulage. — Non loin de là, à *Las Caunes*, sur le territoire de Soulage, on peut constater l'existence de traces de cuivre gris sur des filons qui ne paraissent pas avoir été recherchés.

Massac. — A vingt minutes de distance de ce pays, on cite un endroit peu connu, indiqué sous le nom de *Trou de l'Argentière*.

Padern et *Montgaillard*. — Les mines de ces contrées se trouvent au pied du mont Tauch et dans les calcaires qui forment les deux rives escarpées du Torgan.

On y connaît deux sortes de gîtes : 1° un faisceau de filons quartzeux ou quartzo-barytiques, courant dans une direction rapprochée de E. O., continus et bien réglés, et imprégnés de cuivre gris argentifère ; 2° environ douze filons barytiques dirigés presque perpendiculairement aux précédents et N. S. Quelques-uns de ces filons tiennent aussi du cuivre gris.

Les filons barytiques ne présentent pas la régularité des filons quartzeux, et ils offrent plutôt l'idée d'une succession d'amas, dont quelques-uns atteignent une puissance considérable.

Dans le mont *Germe*, sur la rive droite du *Torgan*, se trouvent les principaux filons quartzeux que l'on exploite aujourd'hui.

Puissance : celle du filon principal, dit filon de Padern, est de 1 mètre à $1^{m},50$.

Minerai. — Sa présence au dehors est accusée par de larges colorations vertes. Il enrichit le filon sur 0,20 à 0,50 de son épaisseur, et il se montre abondamment dans des renflements de 2 mètres à $2^{m},50$; il constitue des colonnes séparées par des intervalles pauvres.

De nombreuses analyses, faites à Paris et à Marseille, ont donné un rendement de 7 p. 0/0 cuivre et 140 grammes d'argent aux 100 kilos.

Parmi les filons barytiques, nous citerons la mine de *Saint-Estève*, qui est un immense amas de baryte contenant des minerais analogues à ceux du filon de Padern.

La teneur de ces minerais, d'après les analyses, est de 6 0/0 cuivre et 120 grammes d'argent aux 100 kilos ; ils renferment encore 1 à 3 0/0 d'arsenic et d'antimoine et des traces d'or. On peut évaluer le rendement de cet amas en minerai à 2 0/0.

Les filons barytiques et plombeux contiennent des minerais donnant 55 à 60 p. 100 de plomb et 240 à 300 grammes d'argent à la tonne[1].

Les filons cuivreux de Padern ont été l'objet de travaux anciens assez étendus, et on en voit aussi des traces nombreuses dans le mont Tauch.

Ces travaux semblent appartenir à deux époques différentes : l'une très-ancienne, que l'on rapporte aux Sarrasins, est caractérisée par la présence de galeries, pour ainsi dire circulaires, faites évidemment au moyen du feu, comme on en rencontre souvent dans ces montagnes, et comme nous avons eu occasion d'en voir à *Auriac*. D'autres travaux d'exploitation, faits à la pointerolle, plus réguliers que les précédents, semblent devoir être plus spécialement rapportés au moyen âge.

Vers 1840, on a essayé de reprendre ces mines ; mais il est probable

1. *Renseignements inédits* de M. Barnier.

que la difficulté des transports et l'absence de voies de communications ont dû faire renoncer à l'entreprise à cette époque.

Aujourd'hui (1872) cette contrée se trouve, sous ce rapport, mieux partagée qu'elle ne l'était alors, et une route carrossable va de Tuchamp jusqu'aux mines.

En 1870, on a profité d'un moulin situé sur les bords du Torgan, à proximité des mines, où l'on a établi un atelier de préparation mécanique, et on se disposait à ouvrir au pied de la montagne une galerie d'écoulement qui assurerait l'exploitation pour un temps de longue durée.

Davejean, Maisons et *Palayrac.* — Cette contrée, essentiellement schisteuse, est traversée par de nombreux gisements qui paraissent y avoir été anciennement l'objet d'exploitations très-importantes.

Aux environs de *Maisons, les Castells, las Corbos, En-Ponts, Sainte-Marie,* le *Trou-du-Vif* sont des lieux où l'on voit encore les traces de travaux anciens.

Les Castells. — Genssane le désigne sous le nom de *Costeills*, et il dit « très-beau filon de mine d'argent mêlé de blende. Le sommet de ce filon avait été attaqué par les Romains. »

C'est une petite colline cultivée auprès de *Maisons.* La tradition y signale, en effet, d'anciens travaux qui ne se manifestent aujourd'hui (1872) que par des dépressions du sol et des cuvettes dans certains champs. De vieux paysans se rappellent encore avoir vu combler d'anciens puits.

Las Corbos. — Colline semblable située auprès de la précédente. On y remarque une galerie E. O. dans les schistes talqueux, poussée au niveau du ruisseau *le Courtillon* pour aller rejoindre le fond d'un puits dont l'orifice est à 16 mètres plus haut. Dans les déblais, traces de blende, fragments de baryte, pas de cuivre; schistes noirs.

Sarrat-d'En-Ponts. — Montagne du Puits, attenante aux deux précédentes. On y voit un grand puits, actuellement comblé jusqu'à l'orifice, à 40 mètres environ au-dessus du ruisseau de *la Canal;* une galerie à mi-côte; enfin, au niveau du ruisseau, une galerie d'écoulement nommée *Sainte-Marie.*

En remontant le ruisseau la Canal, au-dessus de *Sainte-Marie,* on retrouve une autre galerie à peu près comblée dont le sommet seul émerge des éboulements.

D'après la tradition locale actuelle, cette galerie aurait été exécutée anciennement pour aller chercher l'eau nécessaire à la population qui travaillait aux mines d'En-Ponts; quoi qu'il en soit de cette dernière opinion, on ne peut méconnaître que cet ensemble doive se rattacher à

de très-grands travaux anciens dont nous ne voyons plus aujourd'hui que quelques traces. Les déblais qu'on y rencontre renferment des traces de cuivre gris et de la baryte sulfatée. On y voyait encore des scories et les vestiges de deux fourneaux ainsi que des meules dont la présence constate vraisemblablement que la plupart de ces travaux furent exécutés avant l'invention du bocard, c'est-à-dire avant le seizième siècle.

Col de la Bousole. — Confine à la commune de Maisons et appartient à la commune de Palayrac. On y a travaillé dans ces dernières années et on en a extrait une assez grande quantité d'antimoine très-argentifère, contenant 100 grammes d'argent aux 100 kilos (Vène). L'envahissement des eaux, des éboulements survenus et la nécessité de créer de nouveaux travaux ont probablement été la cause de la suspension de ceux que l'on faisait alors.

L'antimoine a été reconnu à *Cascastel*, à *Palayrac*, à *Maisons*, associé aux autres minerais; mais l'antimoine sulfuré argentifère, comme au *Col de la Bousole*, est particulièrement signalé à *Quintillan*.

Peyrecouverte, commune de Palayrac. — Possède plusieurs filons barytiques N. S. paraissant former le prolongement de ceux de Montgaillard. Ils renferment du fer oxydulé et oligiste, et commencent la série des grandes mines de fer qui s'étendent vers Talairan et sont exploitées aujourd'hui avec beaucoup d'activité (1873).

César d'Ascons[1] (1667) parle de grands travaux anciens sur les territoires de *Cascastel* et de *Palayrac*, et notamment dans un long vallon nommé le *Champ-des-Mines*. On y fit quelques recherches à cette époque et on y trouva, dit-il, des minerais de cuivre qui rendaient 10 onces d'argent au quintal, soit plus de 600 grammes aux 100 kilos.

Il rappelle également l'existence d'une galerie haute et large de 6 pieds dans laquelle il pénétra jusqu'à 350 pas de distance, d'un puits partant du haut de la montagne et d'une grande profondeur.

Les mines de Cascastel furent rouvertes en 1782. La direction des filons y est N. S. Puissance : 1 à 2 mètres, et le minerai donnait 50 pour 100 plomb et 6 onces au quintal de plomb, soit de 350 à 400 grammes aux 100 kilos.

On y connaissait deux mines : l'une au pied de la montagne de Recansa, l'autre à la montagne de la Roufia.

Aux environs de *Davejean*, le même auteur constate encore la présence de deux filons argentifères et arséniatés donnant des minerais peu riches en plomb et tenant 10 onces d'argent au quintal, soit environ 600 grammes aux 100 kilos.

Ces minerais étaient, à ce moment, fondus dans une usine voisine, et

1. Anciens minéralogistes.

César d'Ascons rappelle que « la fumée *arsénique* qui sortait des fourneaux où on commençait à fondre les minerais lui en fit quitter la direction. » Ces filons sont probablement ceux de *Couiza* où se trouvent de grands travaux anciens attribués aux Romains, mais appartenant plutôt au moyen âge, comme ceux de Palayrac. La présence de l'arsénic semble indiquer l'existence de cuivres gris ou de minerai d'argent, et s'accorde avec une teneur élevée de ce dernier métal.

On cite aussi la mine de plomb de *Duilhac*, aux environs d'Axat, donnant 50 grammes d'argent aux 100 kilos (Vène).

Le département de l'Aude possède encore de remarquables gisements de manganèse. Parmi eux, nous citerons celui de la *Feronnière*.

Il est situé dans les montagnes qui dominent le pays d'Arques, presque sur la ligne de jonction des schistes de transition avec les calcaires caverneux qui leur sont superposés.

Il remplit les crevasses quelquefois puissantes du calcaire et peut être poursuivi, dans les mêmes conditions, sur une distance de plusieurs centaines de mètres dans le sens de la direction.

Ce gîte, essentiellement composé de pyrolusite, paraît être fort riche et pouvoir donner de grandes quantités de manganèse qu'on exploite activement aujourd'hui.

Or. — D'après d'Expilly[1], on prétend que les Romains avaient des mines d'or dans ces montagnes, et on prouvait cette assertion par les paillettes d'or que l'on rencontre dans les ruisseaux qui en découlent et par les ouvertures et les cavités que l'on voyait dans les roches. Mais nous avons vu que les cavités dont il est ici question sont les ouvertures d'anciennes mines de plomb, de cuivre, d'antimoine et de fer. Cependant l'or existe réellement dans le cours de l'Aude, et, en 1672, Colbert forma une Compagnie qui rechercha les mines d'or avec beaucoup de soin. On avait fait venir des mineurs suédois et on ne découvrit que des filons cuivreux.

PYRÉNÉES.

Les Pyrénées comprennent les départements des Pyrénées-Orientales, Ariége, Haute-Garonne, Hautes-Pyrénées et Basses-Pyrénées, qui embrassaient autrefois les anciennes provinces confinant à l'Espagne connues encore aujourd'hui sous les noms de *Valspir*, *Roussillon*, *Conflans*, *Cerdagne française*, *Capsir*, *Donnezan*, le *comté de Foix*, le *Couzerans*, le *Comminges*, les *Quatre-Vallées*, la *Bigorre*, le *pays de Soule*, la *Basse-Navarre* et le *pays de Labour*.

1. *Dictionnaire géographique.*

Historique général des mines. — On trouve au sein des Pyrénées une multitude de vestiges de travaux anciens disséminés dans leur vaste étendue, jusque vers les plus grandes hauteurs et dans les lieux les plus agrestes et les plus profondément découpés. Il en est beaucoup qui se présentent dans de telles conditions d'altitude, de climat ou d'éloignement des voies de communication, qu'en les voyant on aurait peine à comprendre comment ils ont pu être poursuivis et entrepris, si l'on ignorait que ces montagnes étaient autrefois couvertes de forêts immenses et que la plupart d'entre elles ne furent réduites à l'état de dénudation dans lequel nous les voyons aujourd'hui qu'après 1789. Cette absence de bois, jointe à l'imperfection et souvent même à une pareille absence de voies de communication, explique, d'une manière générale, une des causes d'abandon des mines de ces contrées pendant la majeure partie du siècle actuel.

En jetant un coup d'œil sur le passé, on arrive aussi à reconnaître que les mines des Pyrénées ont eu des époques de grande activité, séparées par de longs intervalles d'oubli et de délaissement, et que vraisemblablement c'est au temps des Romains qu'elles furent travaillées avec le plus d'ardeur.

Selon Ramond de Carbonnères, qui écrivait en 1789, les Gaulois exploitaient paisiblement ces mines pendant même que celles de l'Espagne voisine étaient activées par les Phéniciens et les Carthaginois. Les Romains leur succédèrent après la conquête des Gaules; les mines cessèrent alors d'être travaillées par des hommes libres; mais leur exploitation dut être poursuivie activement pendant les siècles de la domination impériale, qui furent pour les Pyrénées une époque de calme et de tranquillité.

Les travaux purent être poussés à de grandes profondeurs ou sur de grandes étendues, comme on le voit, en territoire espagnol et presque aux limites de France, aux mines d'*En-Bernadels*, près Campredon, à celles de la montagne des *Quatre-Couronnes*, près des Basses-Pyrénées, ou dans l'Ariége, et quelques-unes d'entre elles purent être abandonnées, même à cette époque, au moment où l'extraction des minerais exigeait l'emploi de machines et de moyens plus puissants que ceux dont on disposait; mais toutes durent être délaissées vers le cinquième siècle.

En effet, à partir du cinquième jusqu'au neuvième siècle, les Pyrénées furent le théâtre de luttes pour ainsi dire continuelles. Les Alains, les Suèves et les Vandales y portèrent la dévastation et le trouble, et, après eux, les Vascons et les Sarrasins. Il n'y eut, pour ainsi dire, pas de repos jusqu'à la fin du règne de Charlemagne.

Il est donc naturel d'admettre que, pendant cette longue période de près de quatre siècles, les travaux que les Romains avaient poursuivis furent, pour la plupart, abandonnés, et ceux que l'on attribue aux Sarrasins durent être fréquemment troublés.

Au moyen âge, et surtout à partir du onzième siècle, l'industrie minérale, ainsi que nous avons pu le voir pour les autres contrées de la France, avait acquis un degré d'activité incontestable. Il dut en être de même dans les Pyrénées.

Sans doute, ces contrées furent profondément agitées par les luttes presque continuelles qui se perpétuèrent, pour ainsi dire, jusqu'à l'époque de la Renaissance; mais ces luttes n'étaient plus celles des temps passés, et les Pyrénées n'étaient plus, comme autrefois, le passage de flots d'hommes armés allant d'Espagne dans les Gaules, ou réciproquement.

La montagne était devenue le refuge des grands vassaux du midi de la France; ils y plantaient leurs châteaux sur des rochers incultes et dans des lieux sauvages ou difficilement accessibles, et ils s'y retiraient dans les temps de troubles et de dangers.

Il est donc probable qu'à l'abri de ces tours dont nous voyons aujourd'hui les ruines si pittoresques et souvent perchées comme des nids d'aigles sur de hauts sommets, les mineurs pouvaient travailler paisiblement.

C'est d'ailleurs ce que viennent confirmer les documents qui rappellent que les seigneurs[1] de Comminges, Couserans, Saint-Pau, Béarn, Bigorre et autres lieux retirèrent des mines des revenus considérables, ainsi que cela fut constaté par les registres de Tarbes, de Lourdes, de Bagnères et de Toulouse.

On sait aussi que les mines du Roussillon furent activées pendant les douzième et treizième siècles, et Bernard Palissy (1550) rappelle les mines que les rois de Navarre faisaient exploiter dans leur pays.

Cependant, dans le dix-septième siècle, on avait presque perdu le souvenir des travaux antérieurs dans la majeure partie de la chaîne; les mines de fer à peu près seules étaient en activité, et l'on était retombé dans une nouvelle période d'abandon qui semble avoir persisté pendant plus d'un siècle. Ainsi, lorsque Henri IV voulut faire reprendre les mines des Pyrénées, aux approches de 1600, Malus, maître des monnaies de Bordeaux, qu'il y avait envoyé, exprima, dans un long rapport, l'étonnement qu'il éprouvait à la vue de travaux considérables, abandonnés depuis longtemps, dans la vallée d'Aulus (Ariége). Déjà à cette époque toutes les traditions étaient perdues; quelques tentatives seulement paraissent avoir été faites isolément sur quelques filons que l'on considéra comme insuffisamment rémunérateurs, et, en 1698, il n'existait aucune mine, autre que des mines de fer, dans ces montagnes.

Au commencement du dix-huitième siècle, un certain élan fut donné aux mines pendant la Régence, et des travaux furent entrepris en bien des points sur des gisements de cuivre, plomb et argent.

1. Hellot. *De la fonte des mines.*

Plusieurs concessions furent, en effet, accordées à cette époque; mais, indépendamment de l'absence de traditions, de l'imperfection de la législation minière et de l'ignorance relative à l'étendue des anciens travaux qu'on pouvait rencontrer et qu'on rencontra en effet, causes de grandes difficultés pour des entreprises naissantes, on était encore sous l'influence de l'esprit du temps, inspiré par les gouvernants eux-mêmes. Un souffle de spéculation malsaine était répandu partout, et la formation de la *Société royale des mines des Pyrénées*, vers 1720, qui s'écroula après quelques années d'existence, paraît n'avoir été que le reflet d'autres entreprises plus vastes, telles que celles de Law, dont l'agiotage était le principal caractère.

Rien ne pouvait réussir sous de telles influences.

Les travaux furent poursuivis avec plus de constance et d'honnêteté dans la seconde moitié du dix-huitième siècle : des fonderies furent construites et ranimées à Serancolin, à Saint-Pé, à Pierrefitte, à Baigorry, et l'on retira des mines des produits importants pour l'époque, mais, ainsi que nous aurons occasion de le voir, on eut souvent à lutter contre des frais excessifs de transport.

Enfin, la Révolution détermina l'abandon des nombreuses tentatives que l'on avait entreprises.

Les mines des Pyrénées restèrent encore abandonnées pendant la majeure partie du siècle actuel. Quelques-unes d'entre elles ont été reprises dans ces dernières années, et il est probable que leur fortune est appelée à être favorablement modifiée par suite du voisinage des chemins de fer qui déjà lancent leurs ramifications dans la profondeur des gorges, comme les chemins de Prades dans le Roussillon, de Foix et de Saint-Girons dans l'Ariége, de Bagnères-de-Luchon dans la Haute-Garonne, de Bigorre et de Pierrefitte dans les Hautes-Pyrénées.

Sans entrer dans d'autres considérations, nous pensons que l'histoire des mines des Pyrénées peut être résumée de la manière suivante :

Période gauloise : travail libre et paisible.

Période romaine : travail par les esclaves.

Mérovingiens et Carlovingiens : abandon des mines presque général. Travaux sarrasins.

Moyen âge : travail actif.

De la Renaissance au dix-huitième siècle : abandon presque total.

Dix-huitième siècle : reprise de nombreuses mines, avec quelque succès, dans la deuxième moitié du siècle.

Dix-neuvième siècle : tentatives nombreuses infructueuses. Difficultés des transports. Reprise dans les temps récents, depuis la création des chemins de fer.

Coup d'œil géologique. — La géologie des Pyrénées a été étudiée par beaucoup de savants, et notamment par Dufrénoy, Leymerie, d'Archiac, de

Mussy, Magnan, Noguès, Garrigou, etc.; et c'est, après l'abbé Palassou, Charpentier qui, en 1823, commença à donner une idée méthodique de la constitution des terrains qui en forment l'ensemble.

La science était loin d'être aussi avancée qu'aujourd'hui; mais, si Charpentier a pu confondre ensemble des terrains divers, il faut reconnaître que les études postérieures sont venues confirmer l'idée qu'il exprimait en disant : « La situation géognostique des Pyrénées, loin d'être « compliquée, est, au contraire, d'une grande simplicité, et cette grande « chaîne, loin de présenter des phénomènes opposés aux lois générales « que la nature paraît avoir suivies ailleurs en formant les montagnes, « présente, au contraire, des faits qui ne font qu'appuyer et confirmer « les opinions les plus généralement reçues, sur la disposition et l'âge « relatif des divers terrains. »

On y trouve, depuis les granites, presque tous les terrains de l'échelle géologique, disposés généralement en bandes parallèles à l'axe de la chaîne, traversées et accidentées par les profonds vallons qui descendent des sommets.

Les terrains silurien et devonien y acquièrent un grand développement; ils sont recouverts, en plusieurs points des Pyrénées, par le calcaire carbonifère qui, d'après M. Garrigou, recouvre les célèbres mines de fer de Rancié et renferme les marbres blancs de Saint-Béat.

Sans parler des terrains intermédiaires, nous ajouterons que le terrain crétacé, et surtout la partie inférieure, le calcaire néocomien, dans lequel se trouvent les mines de cuivre de Montgaillard dans l'Aude, ou celles du mont Tauch, forme de puissantes montagnes qui atteignent de grandes hauteurs et acquièrent, dans l'étendue de la chaîne, un très-grand développement.

On trouve encore des roches ophiolitiques auxquelles sont associés des minerais de cuivre.

Lorsqu'on voit les roches que Charpentier classait toutes sous le nom de roches de transition, et auxquelles appartiennent particulièrement les terrains silurien et devonien, on reconnaît que leur ensemble présente à un haut degré tous les effets du métamorphisme. La puissance de ces effets est constatée par la variété des roches, par la pénétration de ces roches par de nombreux minéraux et par la présence de roches ophitiques diverses comprenant tout une série de porphyres, d'amphibolites, de diorites et de grunsteins.

Cette action métamorphique, constatée d'une manière si puissante par l'aspect divers des roches d'une même formation, et encore par les nombreuses sources thermales qui en sont, pour nous, les témoins, dans les temps actuels, semble expliquer la dissémination des minéraux utiles que nous voyons au sein des terrains, le petit nombre de véritables filons relativement à la multitude des gisements insérés plus ou moins régulièrement entre les couches, et la disposition particulière et fréquente

des substances métalliques en amas ou en rognons au milieu de leurs feuillets.

Cette dernière disposition, qui, dans bien des cas, a été la cause de divers insuccès, montre encore que les amas visibles à la surface du sol ne sont pas seuls, qu'il doit s'en retrouver au-dessous d'eux dans la profondeur des terrains, et, à ce point de vue, il est permis de croire que les Pyrénées renferment de puissantes richesses métalliques.

Il n'est pas inutile de rappeler que Charpentier, dont nous venons de citer le livre, n'y exprime généralement qu'une opinion peu favorable à l'industrie minérale et n'accorde une réelle importance qu'aux mines de fer.

Cette opinion, pareille à celle de l'abbé Palassou, fondée surtout sur les insuccès dont il avait connaissance avant 1823, ne paraît devoir être prise en considération qu'en se reportant à près d'un siècle en arrière et en rapprochant par la pensée les difficultés de toutes sortes que les exploitations devaient rencontrer dans un pays profondément accidenté, sans moyens de communication et souvent sans combustible, au moment où Charpentier le parcourait.

Cette observation est d'autant plus vraie que Dietrich, dont nous parlerons tout à l'heure, qui, en 1787, étudia les mines des Pyrénées, non pas en savant, mais en mineur, dans un moment où les bois, d'ailleurs amoindris par les forges, ne faisaient pas encore défaut, tout en citant des gîtes qu'il croit importants, fait fréquemment remarquer que l'absence des chemins les rend inexploitables.

Nous regarderons donc le jugement de Charpentier comme prématurément exprimé et nous penserons que les riches mines de fer, les immenses travaux anciens que nous aurons occasion de signaler sur des mines de plomb, argent, etc., la haute teneur des minerais argentifères, le volume des amas de manganèse de la vallée d'Aure, etc., suffisent pour témoigner à l'évidence de l'aptitude des montagnes pyrénéennes à renfermer d'abondants dépôts métalliques de toutes sortes.

L'ingénieur saura distinguer parmi eux quels sont ceux dont il pourra tirer parti dans les conditions économiques actuelles, et ceux qu'il devra délaisser, et il ne les condamnera pas à l'oubli avant de les avoir visités et étudiés.

L'énumération des mines des Pyrénées, ou d'un grand nombre d'entre elles, a été donnée par divers auteurs anciens et notamment par la baronne de Beausoleil en 1630[1], et reproduite par Hellot en 1750[2]. Il serait superflu de la rapporter ici ; mais, cependant, nous rappellerons les détails donnés en 1787 par Dietrich qui, à cette époque, explora toute la chaîne, à l'exception des Pyrénées-Orientales. Ses conclusions sont

1. Restitution de Pluton.
2. *De la fonte des mines.*

bien différentes de celles de Charpentier, et si, parmi les gisements métalliques qu'il a visités, il en cite qui n'ont que peu ou point de valeur, on en trouve beaucoup qui, suivant lui, méritent une attention particulière. Ses conclusions sont, en général, confirmées par les observations postérieures.

Depuis Dietrich, bien des progrès ont été réalisés dans l'art des mines; nous croyons donc bien faire en donnant, pour chaque contrée, la liste des gisements telle qu'il l'a publiée, parce que nous aurons ainsi un point de repère et une idée de l'état des mines connues, dans la majeure partie des Pyrénées, peu de temps avant la Révolution.

On verra, dans le cours de ce travail, qu'à l'exception de l'Ariége dont la description a été donnée par M. de Mussy dans ces dernières années, on n'est pas aujourd'uni beaucoup plus éclairé qu'on ne l'était en 1787.

Département des Pyrénées-Orientales.

Le Roussillon et la Cerdagne française, constituant aujourd'hui ce département, l'un des plus beaux de France par la douceur de son climat, la fertilité de ses vallées et l'aspect pittoresque de ses montagnes, ont longtemps fait partie de l'Espagne. Les rois d'Aragon en sont restés les maîtres jusqu'au moment du traité des Pyrénées, en 1659, qui en assura la possession irrévocable à la couronne de France.

Ce pays n'est pas moins remarquable par les puissantes mines de fer que l'on y a exploitées dans tous les temps, et il possède encore de nombreuses mines d'autres métaux qui, ainsi que nous allons le dire, paraissent avoir eu leurs temps d'activité.

Les souvenirs les plus éloignés que l'on connaisse relativement à ces dernières remontent encore au moyen âge.

Les rois d'Aragon donnèrent un grand nombre de concessions[1].

La première dont il est fait mention dans les archives est celle de la mine d'argent de la *Couma de Bouxeda*. La propriété de cette mine avait soulevé une contestation entre l'abbé de Sainte-Marie-d'Arles et le vicomte de Castelnau. Cette contestation fut réglée à l'amiable et la mine fut partagée en 1146.

Le vicomte de Castelnau céda à l'église de Sainte-Marie-d'Arles tous les revenus qu'il pourrait tirer de cette mine.

1196. Concession d'une mine d'argent, située au lieu dit *Pugalduc*, au monastère d'Arles, moyennant 1,000 sous de Barcelone, somme alors considérable.

1425. Découverte d'une mine d'argent au territoire de *Montbolo*.

1. Morer. *Société agricole et scientifique des Pyrénées-Orientales*, 1854. — Campanyo. *Histoire naturelle des Pyrénées-Orientales*, 1861.

Les documents reconnus par M. Morer signalent à certaines époques beaucoup d'ardeur dans la succession des fouilles, ardeur qui prouve « que celles-ci n'ont pas toujours été infructueuses. »

Après le quinzième siècle, on cessa pendant quelque temps d'y chercher l'or, l'argent et plusieurs autres métaux; mais l'exploitation du fer n'y a pas été suspendue et n'y fut jamais interrompue.

On voit encore quelques concessions accordées dans le cours du seizième et dans le dix-septième siècle, après la conquête de Louis XIII.

Durant le quinzième siècle, les mines étaient soumises à un règlement particulier et, à cette époque, les redevances que percevaient les rois d'Aragon étaient très-fortes.

En 1427, la part revenant au roi, fixée par décret d'Alphonse d'Aragon, était, franche de tous frais :

De 25 pour 100 d'or ou d'argent épuré, pour les mines d'or ou d'argent qui ne produisaient que 2 marcs ou au-dessous par quintal;

De 33 pour 100 pour celles qui produisaient de 2 à 5 marcs;
50 pour 100 — — 5 à 10 marcs;
75 pour 100 — — 10 à 15 marcs;
15 pour 100 pour les mines de cuivre;
12 pour 100 pour les mines de plomb.

Ces redevances ont varié suivant les rois qui régnaient à Perpignan.

Ainsi, en 1441, elles étaient :

Pour l'or, de 33 pour 100;
Pour l'argent, 20 pour 100;
Pour les autres métaux, 8 pour 100.

En 1561, pour les territoires d'Ille-et-Corbère, le concessionnaire devait donner au roi :

Pour l'or, 25 pour 100;
Pour l'argent, 10 pour 100;
Pour les autres métaux, 8 pour 100.

Ces redevances élevées, surtout vers le seizième siècle, quand se fit sentir la dépréciation du prix des métaux précieux, contribuèrent beaucoup, sans doute, comme en Espagne, à l'anéantissement des mines dont les travaux s'approfondissaient, mais on ne saurait réellement pas aujourd'hui où trouver dans ces contrées des gisements capables de fournir de pareils rendements. Devons-nous croire que tout à cet égard nous est encore inconnu et qu'un grand nombre de travaux anciens échappent à nos regards?

Au commencement du dix-huitième siècle, en 1717, le Régent fit donner aux intendants des provinces l'ordre de chercher les mines dans toute l'étendue du royaume; dans le Roussillon, les recherches furent confiées à un certain *Villaroja* qui donna bientôt une note des gisements

qu'il avait découverts, et quelques années plus tard, en 1723, un abbé, du nom de Raguet, poursuivit ces recherches. Il signala la mine ancienne d'*En-Bernadells*, située sur le territoire espagnol, près des limites du Roussillon, non loin de Campredon où existent d'immenses travaux anciens ouverts sur des gîtes de cuivre argentifère, et fit connaître des mines d'or et d'argent dans la province.

Vers cette époque parut, en 1722, un édit de Louis XV portant l'*établissement d'une Compagnie pour travailler toutes les mines du royaume pendant trente années, à l'exception des mines de fer*, au nom de Jean Galabin, sieur du Joncquier[1], avec le don du dixième appartenant au Domaine et à prélever sur le produit des mines.

En 1731, cette concession exorbitante fut restreinte, par arrêt du conseil d'État, aux *mines et minières des provinces du Béarn, de la Basse-Navarre, du Languedoc et du Roussillon*, et le don du dixième fut révoqué.

Les travaux de la Société, concentrés dans les Pyrénées, furent activement poussés dans le Roussillon. Le siége de l'établissement était au village de la *Preste*, presque aux confins du territoire français. On y attaqua des filons cuivreux et argentifères, ainsi que nous le verrons plus bas. On établit à grands frais une fonderie sur le Tech, au lieu dit *la Forge*, ainsi que tous les annexes correspondants, et peu d'années après on avait absorbé la plus grande partie du capital dans les premiers frais d'établissement et dans une organisation trop luxueuse. En 1739, après moins de temps qu'il en fallait pour créer une entreprise de ce genre, tout était abandonné et les mines étaient déjà noyées[2]. Aujourd'hui on ne trouve plus d'autre trace de ces établissements qu'un tas de scories sur les bords du torrent, et de ce qu'il en reste on ne voit qu'un marbre blanc sur lequel, avec les armes royales et la date de 1732, sont inscrits les noms des fondateurs de la Société.

Après avoir formé la clef de voûte de la porte d'entrée de l'établissement, ce marbre fait aujourd'hui (1873) humblement partie de la construction d'un four à pain dans une des maisons du village de la Preste.

Depuis cette époque, quelques tentatives ont été faites de loin en loin sur les mines des Pyrénées-Orientales; mais on n'a pas réussi à y fonder aucun établissement durable, autrement que pour les mines de fer que l'on travaille aujourd'hui plus activement que jamais.

Cependant il faut remarquer que ces dernières mines elles-mêmes ne doivent leur activité actuelle qu'aux approches des chemins de fer, comme à leur qualité exceptionnelle, sans lesquelles elles auraient peut-être été pour longtemps encore condamnées à une production restreinte, et lorsqu'on a parcouru ces vastes montagnes, on peut comprendre que les entreprises minérales ont dû rencontrer, jusqu'à ces dernières années,

1. *Ordonnances et édits de l'ancienne monarchie*. Lamé-Fleury, 1857.
2. Lemonnier. Anciens minéralogistes.

des obstacles considérables à surmonter, à cause de l'imperfection ou de l'absence des voies de communication et de la longueur des distances à parcourir pour arriver aux lieux de consommation, ou pour se procurer les combustibles nécessaires.

Aujourd'hui la vapeur transforme ces contrées, et de nouvelles entreprises concernant l'exploitation des mines pourront sans doute s'y former comme à l'époque où toutes ces montagnes étaient couvertes de forêts ; les cours d'eau y abondent et il est à espérer, ainsi que le dit si justement M. Morer, que, mieux dirigées qu'en 1731, ces entreprises sauront se garantir de ces folles spéculations qui font périr, dès le principe, une œuvre utile, en absorbant les premiers capitaux dans des frais d'établissement hors de toute proportion avec le but qu'elles se proposent.

Gisements et mines connus dans le département :

Canaveilles, cuivre. Concession de 1833, sur 431 hectares. En travail en 1873.
Nyers, cuivre, filons.
Fosse et *Saint-Martin*, cuivre. Concession de 1842, sur 359 hectares. Abandonnée en 1842 (Comptes rendus, 1846).
Fromiguères (Capsir), plomb en rognons (Lemonnier).
Environs de *Réal* (Capsir), cuivre, plusieurs filons puissants (Lemonnier).
Pedreforte, vallée de *Carol*, cuivre, plomb, argent, plusieurs filons (Lemonnier).
Terroir d'*Escaro*, cuivre et argent, au plat de Gantes.
Environs de *Montlouis*, *Fontpédrouse*, *Carança*, etc., cuivre, plusieurs filons.
Terroir d'*Estoher* en Conflans, cuivre.
La Preste, cuivre et cuivre gris argentifère. Anciens travaux.
La Manère, plomb et argent. Anciens travaux.
Serrelongue et environs.
Pratz de Molhò, cuivre et plomb, argent. Aux lieux dits : *les Billots*, *Sainte-Marie*, *Minier de Saint-Louis*, *Saint-Salvador*, col de *la Régine*, col de *la Cadère*, *Costebonne*.
Coustoujes, non loin de Saint-Laurent-Cerdans, plusieurs filons de cuivre.
Ballestavy, cuivre et argent. Filon de quatre pieds, au *Coll de la Gallina*.
Id. id., au *Puech del Moros*.
La Coma, cuivre et argent, en Conflans.
Montbolo, en Valespir, cuivre et argent.
Territoire d'Ille et Corbère, cuivre, plomb, argent. Rappelé par les documents.
Montagne de *Batera*, cuivre.
Sorrede, cuivre natif, pyrite dans un banc de grès. Au pied des Albères.
Environs d'*Arles*, bismuth.
Taulis (arrondissement de Céret), plomb. Filon E. O.

Galène en rognons dans les mines de fer du Canigou, au *Vernet*, *Sahorre*, etc.

Sables aurifères de la *Tet* et du *Tech*.

Les granites, les gneiss, les micaschistes et les roches qui leur sont généralement associées constituent une grande partie du département des Pyrénées-Orientales. Les roches granitiques y apparaissent en

masses imposantes comme au Canigou. Elles forment la chaîne qui sépare la vallée de l'Ariége de celle du Tet, et l'axe des Albères, et elles constituent les cimes les plus élevées et les faîtes d'un grand nombre de chaînons divers qui accidentent profondément la province du Roussillon. Les gneiss, les micaschistes que l'on retrouve en quelques points du massif des Albères se montrent dans les deux grandes vallées de la Tech et du Tet, ou, reposant quelquefois directement sur le granite, se trouve un puissant développement de roches schisteuses et calcaires marmoréens appartenant aux terrains de transition, silurien et dévonien, qui s'étendent depuis la Preste jusqu'à Arles, et constituent le sous-sol de la Cerdagne française. Toutes ces roches semblent surgir du milieu des couches secondaires qui se développent d'autant plus qu'elles s'éloignent davantage de l'axe de la chaîne.

Dans plusieurs endroits, comme aux environs d'Amélie-les-Bains ou de Monbolo, dans les hauteurs du Tech, on reconnaît la présence des porphyres quartzifères; la serpentine se montre aux environs de Canaveilles, sur le Tet, et, dans plusieurs lieux, comme aux environs de Saint-Laurent de Cerdans, les mélaphyres, situés presque au contact des granites, montrent les transformations qu'ont subies dans ces lieux divers les schistes de transition.

Enfin de nombreuses sources thermales et l'aspect, souvent profondément modifié, des roches, constatent une action métamorphique puissante qui s'est exercée dans ces contrées aux diverses époques géologiques, et s'y poursuit de nos jours.

Les substances métalliques sont peu abondantes dans le granite; elles sont particulièrement situées dans les schistes cristallins ou de transition, et les quelques mots que nous avons dit sur la géologie de ces contrées suffisent pour montrer que les gîtes métallifères peuvent y acquérir une importance de premier ordre.

Dans le département des Pyrénées-Orientales, comme presque partout en France, on ne connaît les travaux des anciens que parce qu'on en voit au dehors, et les travaux exécutés dans le siècle dernier ou dans le siècle actuel, abandonnés presque aussitôt que commencés, n'ont exploré quelques gisements qu'au voisinage de la surface du sol. Déjà on sait que les mines de fer y acquèrent un développement considérable et forment une sorte de puissante auréole, particulièrement autour des granites du Canigou, et il serait bien prématuré d'exprimer, pour les gisements autres que ceux de fer, une opinion défavorable dans l'état actuel des connaissances que l'on possède à leur égard.

Mines de la Compagnie royale de 1722. — Les mines dont nous avons parlé se montrent dans des vallons très-rapprochés de l'établissement des bains de la Preste, et elles y sont connues sous les noms de *Saint-Louis, Sainte-Marie et Sainte-Barbe.*

Les travaux sont ouverts sur plusieurs filons verticaux, qui courent au milieu des roches de transition, formées de calcaire saccharoïde et de schistes talqueux reposant directement sur le granite.

Leur puissance, autant qu'on en peut juger dans des travaux en partie éboulés, atteint un mètre; *leur gangue* est principalement quartzeuse, spathique et ocreuse. Le minerai consiste particulièrement en cuivre gris ou phalerz. Les déblais que les eaux torrentielles n'ont pas entraînés montrent encore aujourd'hui les colorations qui en accusent la présence.

On distingue deux directions principales N. S. magnétique et à peu près E. O., et deux de ces filons, dont l'un montre sa trace blanche sur une assez grande longueur de la montagne, se coupent presque à angle droit.

Tous les travaux exécutés il y a plus d'un siècle sur ces gisements sont en partie éboulés ou remplis d'eau. Déjà, en 1739, ils étaient inondés quand Lemonnier, membre de l'Académie des sciences, en fit la visite.

Dans la relation qu'il en donne, faite pour ainsi dire au moment même où on venait de les abandonner, et ou on pouvait facilement se rendre compte de la plus ou moins grande richesse des filons, il dit : « *Ces mines n'ont pas laissé que de produire.* » Les apparences extérieures sont favorables à un enrichissement, et tout porte à croire que les travaux n'ont pas été abandonnés à cause de la pauvreté des gîtes.

On voit encore aujourd'hui, près de l'ancienne fonderie et sur les bords du torrent, le reste d'amas de scories qui prouvent qu'on en a retiré des produits importants.

La Société royale travaillait en même temps au *Coral* et à *Lamanère.*

On nous a fait voir à la Preste de remarquables échantillons de pyrite de cuivre, indiquant l'existence d'autres filons dans les schistes des environs, mais ceux qui nous les montraient se sont refusés à nous indiquer le lieu de leur provenance.

Lamanère. — Plomb et argent. Ce pays, situé aux environs de Pratz-de-Molhó, est signalé au loin par les deux tours anciennes qui le dominent et qu'on y voit encore aujourd'hui. Il possède des mines qu'on a travaillées à une époque très-reculée dont on ignore la date.

On y connaît plusieurs filons[1] encaissés dans les terrains de transition.

Filon *Aguste-Houp*. — *Direction* : N. S. Galène très-blendeuse.

Filon *Pla de las Taulas*. — *Direction* : N. S. *Puissance* : 0,12. *Minerai*. Galène disséminée dans une gangue ferrugineuse avec fer spathique, quartz, baryte sulfatée, pyrite de fer, etc.

Filon du *Jardin-d'en-Bourec*. — *Direction* : N. N. E. 150. — *Puissance* :

1. Comptes rendus des Ingénieurs, 1846.

0,15. Connu sur une longueur de 150 mètres. *Minerai* : très-riche en argent.

On a tenté plusieurs fois la reprise de ces mines dans le siècle actuel ; mais l'absence de routes et l'éloignement du combustible n'ont pas permis que ces tentatives fussent fructueuses.

Il en est de même en général pour le plus grand nombre des gisements du département. Il en serait peut-être différemment aujourd'hui que cette contrée est sillonnée par de nombreux chemins carrossables

Filon de *Coste-Bonne*. — Situé à 2,464 mètres d'altitude. Il consiste en fer hydroxydé mélangé de pyrites ferrugineuses et cuivreuses, avec cuivre oxydulé et cuivre carbonaté, rendant moyennement, d'après une analyse de M. Vène, 12 p. 100 de cuivre.

Nous ne possédons pas assez de documents pour entrer dans de plus grands détails sur les mines des Pyrénées-Orientales ; mais nous en avons assez vu pour penser que l'on peut, avec plus de raison que jamais, dire aujourd'hui ce qu'écrivait M. Leplay en 1846 : « Les granites et les terrains de transition y présentent de si imposants indices de minerais métalliques qu'il y a lieu de présumer que des recherches, conduites avec habileté et persévérance, conduiraient à des découvertes fructueuses. »

Département de l'Ariége.

L'Ariége est l'un des départements de la France les plus célèbres au point de vue de l'industrie minérale. Depuis des siècles on y exploite des minerais de fer d'une qualité supérieure ; l'or qui se trouve dans les alluvions des vallées y a été, jusque dans le siècle dernier, l'objet d'exploitations prolongées, et les substances métalliques, telles que plomb, cuivre, argent, y ont été travaillées par les anciens, dans certains lieux, jusqu'à des profondeurs considérables.

D'après les anciens minéralogistes, on trouve des ordonnances de Philippe le Bel, qui concédaient au comte de Foix les mines de ses domaines, et la grande reprise des travaux a particulièrement commencé sous Gaston IV, comte de Foix et de Bigorre, devenu roi de Navarre (1285 à 1314).

En 1483, les mines de Couserans furent concédées par Charles VIII. Enfin c'est dans le XIIe siècle, au moment de l'affranchissement des communes, que les comtes de Foix accordèrent aux habitants de la vallée de Vicdessos les priviléges dont ils jouissent encore aujourd'hui, relativement aux mines de fer qui ne cessèrent pas d'être travaillées.

Les mines se trouvent généralement dans les parties du département les plus rapprochées de la crête des Pyrénées, dont l'altitude moyenne est de 2,500 à 2,700 mètres, parce que c'est là que se trouve la zône des

terrains anciens qui en renferment le plus. Elles sont situées dans des contrées profondément découpées, auprès de montagnes élevées et abruptes qui dominent souvent le fond des vallées de plus de 1 000 mètres, et dont la structure permet avec facilité l'établissement de nombreuses galeries d'écoulement.

ÉNUMÉRATION DES GISEMENTS DE L'ARIÉGE, D'APRÈS DIETRICH (1787).

Vallées.	Nature.	Gîtes.	Paroisses.	Montagnes.	Observations.
			Généralité de Pau. — COMTÉ DE FOIX.		
D'Orlus....	Pyrite de fer.	En masses..	Orlus......	De la rive de Mortèze....	A essayer pour savoir si elle contient de l'or.
D'Ax.......	Alun.	Id.	Vaychis. ..	Laurier.	»
—	Id.	Id.	Perle......	Perle.......	Terre sulfureuse.
De Lordadet	Cuivre.	Indéterminé.	Lordat.....	Lordat.	Ancien travail comblé.
—	Plomb, argent	Rognons....	Caussou. ...	Cosse de Caussou.	Fort riche. Mais donnant peu d'espoir de se soutenir.
De Gudanes	Pyrite.	Indéterminé.	Les Cabanes.	Combe d'Ensignan. ...	A essayer pour savoir si elle contient de l'or.
Baronie de Saint-Paul..	Manganèse..	Id.	Trasine. ...	Ganac.	D'aucune utilité.
De Videssos	Plomb, argent	Rognons....	Miglos.....	Axiat.......	Exploitée à plusieurs reprises, sans succès.
Bastide de Séron......	Cuivre......	Filon.	La Bastide..	Côte de la Sourre......	Susceptible de recherches.
Seigneurie d'Amboise..	Id.	Id.	Méras......	Côte de Lasqueras.	Id.
L'Arbont...	Id......	Indéterminé.	L'Arbont...	Des Atiels...	Anciens travaux abandonnés.
Ruisseaux de la Grosse.	Or.........	Paillettes...	»	»	»
Rieux......	Id.	Id.	»	»	»
Milly.	Id......	Id.. ...	»	»	»
Tréban....	Id.	Id.	»	»	»
La Béouse.	Id......	Id.....	»	»	»
L'Ariége....	Id.	Id.	»	»	»
			Généralité d'Auch. — DIOCÈSE DE COUSERANS.		
D'Aulus....	Plomb, argent	En masse...	D'Aulus....	D'Argentères.	A été mal exploitée ; suspendue.
—	Id.	En filon....	Id.	De la Quorre.	Bien exploitée ; suspendue.
—	Plomb, zinc..	En veines...	Id.....	Pouech de Gouass.	Grands travaux, dits de Castel-Minier.
—	Cuivre......	Filon......	Id.	La fontaine d'Aubac.....	Mérite d'être exploitée.
—	Plomb, zinc..	Id.....	Id.	La Sangle des bois des Charbonniers.....	Anciens travaux. Mérite d'être exploitée.
—	Cuivre et zinc.	Id.	Id.	Des Jalumes..	Filon très-puissant. Mérite des recherches.
—	Id.	Id.....	Id.	Des Escanarades.	Exploitation suspendue.

Vallées.	Nature.	Gîtes.	Paroisses.	Montagnes.	Observations.
Généralité d'Auch. — DIOSÈCE DE COUSERANS. (*Suite.*)					
D'Aulus....	Cuivre, zinc..	Filon.	D'Aulus. ...	De Commartis.	Exploitation suspendue.
—	Cuivre......	Id.....	Id.....	De l'Enfer, P. de Gouass.	Mérite des recherches.
—	Id.......	Id.....	Id.....	De la rivière d'Arce......	Id.
—	Pyrite de fer.	En masses..	Id.....	De Baretz...	Susceptible de quelques tentatives.
—	Cuivre......	Id.....	Id.....	Canton de Serol, montagne de Baretz....	De même.
—	Id.	Filon......	Id.....	Du carreau de la Coste.....	Mal exploitée; en suspens.
—	Id.......	Id.....	Id.....	De la Scala de l'Arouillas...	»
D'Ustou....	Plomb, zinc..	Plusieurs filons......	D'Ustou. ...	De Carboire..	Exploitée; suspendue.
—	Cuivre......	Filon......	Id.....	De la Commette.......	Id.
—	Id.	Id.	Id.	D'Ichédetz...	Id.
De Conflans.	Plomb......	Id.....	De Salau...	De Laoque du Bouis.......	Id.
De Seix....	Cuivre......	Id.....	De Seix....	De l'Escalatorte.	Susceptible d'être reprise de nouveau.
—	Id.......	Id.....	Id.....	De Sahucette.	Ancien travail, susceptible d'être repris avec avantage.
—	Plomb......	Id.....	Id.....	De Mimort...	Exploitée et en suspens; est très-importante.
—	Plomb, argent	Id.....	Id.....	Id.	Cette exploitation mérite de toutes manières d'être reprise.
—	Cuivre......	Rognons....	Id.....	De Mède....	De la plus belle qualité; mérite des recherches.
—	Id......	Id.	Id.	D'Aunac. ...	Id.
—	Or.........	Pallioles ...	De Soueix..	Ruisseau de la Nert.....	»
—	Id.	Id.	Id. ...:	— du Salat..	»
De Massat..	Plomb......	Filon......	De Massat..	De Lourdaloue	Minerai très-riche; exploité en cachette par les paysans.
—	Id.	Rognons....	Id.	Du col de Boulogne......	Id.
D'Aléon....	Id......	En veine...	D'Aléon. ...	»	Susceptible de quelques recherches.
De Ballongue........	Cuivre......	Indéterminée	D'Orgibet...	De la ferme d'Héréchet..	On n'y voit que des décombres. Anciens travaux.
—	Id.	Id.	De l'Anglade.	De l'Anglade.	Exploitée ci-devant par les paysans.
—	Argent, plomb	Filon......	D'Angirein..	De la Souquette	Tient 28 kil. plomb, 4 onces d'argent. Mérite d'être exploitée.
—	Plomb.	Id.	De Couledoux	De Pallerase.	»
Saint-Lary..	Cobalt......	Id.	»	»	»

Dietrich ajoutait : les filons de la vallée d'Aulus peuvent être rangés parmi les plus constants des Pyrénées ; le filon de la Souquette contient une véritable mine d'argent blanche.

Il proposait l'établissement d'une fonderie royale dans les environs do Seix ou d'Oust.

CONCESSIONS (1870) :

Aulus, plomb, etc. Concession de 1835, sur 763 hectares (arrondissement de Saint-Girons).

Sentein et *Saint-Lary*, plomb, etc. Concession de 1848, sur 6935 hectares (arrondissement de Saint-Girons).

Ranet, plomb, cuivre, argent. Concession de 1862, sur 2062 hectares (arrondissement de Foix).

Cerboire (Ustou), plomb, zinc, argent, cuivre. Concession de 1861, sur 1605 hectares (arrondissement de Saint-Girons).

Seix, plomb, cuivre, argent. Concession de 1860 (arrondissement de Saint-Girons).

Des Abères, plomb, argent, etc. Concession de 1869, sur 934 hectares (arrondissement de (Saint-Girons).

Pouech, plomb, argent, etc. Concession de 1863, sur 2694 hectares (arrondissement de Saint-Girons).

Montels, manganèse. Concession de 1861, sur 61 hectares (arrondissement de Saint-Girons).

ÉNUMÉRATION DES GISEMENTS CONNUS, d'après M. de Mussy (1872).

DANS LE GRANITE.

Galène. — Col de Saleix, versant de Saleix.
Orry de Carol.
Traces de cobalt. — Aulus, entre le Garbet et l'Arce.
Montagne de l'Artigue.

GNEISS ET MICASCHISTES.

Pyrites magnétiques. — Montagne du Col del Four (Escarolle, Massat).
Espou, près Lacourt. Id.
Oxyde de cobalt. — Quartier des Endrons, Sistras et Coumel del Pastou.

SILURIEN INFÉRIEUR.

Pyrites de fer. — Caussou, montagne de Barres.
Norgeat de Miglos.
Mouton de Cadarcet. Anciens travaux.
La Fouillet d'Aulus.
Massat Bonatès.
Massat, vallon de Larac.
Col de Nédé d'Antras.
Pyrite arsénicale. — Marc Auzat.
Pouech d'Aulus.
Salau.

MINES DE CUIVRE au voisinage du massif granitique de la frontière.

1. Montagne de *Mijanès*. Quartier de *Balbonne*. Forêt des *Barres*, la *Barsouillade*, *le col de la Légue*, Laurenti et environs.

2. *La Combe de Seignac*. *Aston*, deux affleurements.
3. *Ranet d'Auzat*, trois affleurements.
4. *Le Fouillet d'Aulus*. Fond du vallon.
5. *Aylie* (Sentein).

Au nord des massifs granitiques de Saint-Barthélemy et du Rieou.

1. *Le Bosc*, bord du ruisseau.
2. *Vales d'Esplas*, deux affleurements.
3. *Soulan*, *Calamane*, traces de cuivre.
4. *Guilhemole* et *Saury d'Alzein*, deux affleurements.

BLENDE.

1. *La Freychinière d'Aulus*.
2. *Caboussat d'Ustou*, deux affleurements.
3. *L'Artigue de Bieille* (Ustou), un filon.
4. *Le Bèz des Abères de Rivernert*, blende argentifère, deux affleurements.

PLOMB ET ZINC entre le massif primitif de la frontière : celui de Saint-Barthélemy, d'une part, et des Trois-Seigneurs de l'autre.

1. *Caussou*, montagne au sud, alquifoux.
2. *Albiès*, galène en rognons à grains fins.
3. *Norrat* et *Axiat de Miglos*, deux affleurements en rognons à grains fins.
4. *Col de Rizoult*, *Sem*, alquifoux.
5. *Auzat*, *le Coulommiers*, blende et pyrite avec peu de galène.
6. *Saleix*, blende, pyrite, galène et fer carbonaté.
7. *Col d'Ercé de Montbéa*, galène et blende à grains fins.
8. *Col d'Escotz d'Ustou*, calamine, blende et galène.
9. *La Peyre d'Ustou*, deux affleurements, galène; un troisième à Girac.
10. *Carbonère d'Uston*, trois longs affleurements, galène et blende, à grains fins.
11. *Le Sarrat de Margaridad d'Ustou*, deux affleurements.
12. *Pyronère d'Ustou*, un long affleurement, galène et blende.
13. *Couflens le Bouche*, galène.
14. *Cabane d'Anglade de Salau*, galène et blende.
15. *La Ouque de bouis de Salau*, id.
16. *Flouquet d'Orle*, deux affleurements, id.
17. *Le mail de Bulard*, gros affleurements, id.
18. *Chichoix* de Sentein, grandes mines, galène et blende.
19. *Maubernié de Sentein*, quartier de *Coumelongue* de la *Fontaine d'Andail*, galène et blende.
20. *Lac d'Arreing*, id.
21. *Berguerasse de Saint-Lary*, deux affleurements, galène à grains fins.
22. Rocher de *Barbart*, deux affleurements, galène et blende.
23. Rocher de *Goulure de Saint-Lary*, galène et blende.
24. *La clotte du vallon d'Autrech*, id.
25. *Peyronère*, quatre affleurements, galène, blende, pyrites.

Au nord du massif primitif de Tabes et de Picou

PLOMB ET ZINC ARGENTIFÈRES.

1. *Roquefort* de Trasbens, deux affleurements, alquifoux.
2. *Le Sarrasy* de Mont-Constant, galène avec fer.
3. *Mont Constant*. Travaux anciens, deux affleurements.
4. *Mont Constant* de Moutou, grandes mines, alquifoux.
5. *Micou de Castelnau-Durban*, galène avec antimoine.
6. *Forêt de Riverenert*, trois affleurements, galène et blende.
7. *Les Abères de Riverenert*, sept affleurements, id.
8. *Soulan*, pied de Calamane, id.

Entre le massif des Trois-Seigneurs et celui du Picou.

1. *Belmiou de Massat*, un seul affleurement, galène et blende, pyrite et fer carbonaté.

SILURIEN SUPÉRIEUR.

MINES DE CUIVRE entre le massif primitif de la frontière, celui de Saint-Barthélemy, d'une part, et des Trois-Seigneurs d'autre part.

1. *Bord de l'Arce* du Pouech (Aulus), pyrite.
2. *Commartis d'Aulus*, deux affleurements, id.
3. *Escanarades d'Aulus*, id.
4. *Ichedtz d'Ustou*, id.
5. *Coumette d'Ustou*, id.
6. *Escalatorte, le château de la Garde*, id.
7. *Sahucette*, id.
8. *Vallon d'Estours*. id.
9. *Aubac d'Estours*, id.
10. *Mimort*, id.
11. *Mousq*, id.
12. *Medé*, id.
13. *Moulibas*, id.
14. *Bonrepeaux*, id.
15. *Clos de Rames*, id.
16. *Cazabéde* du port d'Esbintz, id.

MINES DE PLOMB ET ZINC ARGENTIFÈRES. Région de Saint-Girons.

1. *Les Argentières* (Aulus), galène et blende.
2. *Laquorre*, galène, plomb carbonaté.
3. *Lauqueille*, galène et blende.
4. *Castel Minier*, travaux romains, galène.
5. *La Chassotte*, galène.
6. *Les Raspes*, id.
7. *La Palistre*, id. et calamine.
8. *Bord de l'Arce*, galène et blende.

9. *Sainte-Barbe* (Pylore), galène.
10. *Les Sagettes*, id.
11. *Escalatorts*, id. et pyrite de cuivre.
12. *Estours*, galène.
13. *Mimort*, id.
14. *Mousq*, id.
15. *Fonta*, id.
16. *Arcousan*, id. et blende.

Au nord du granite de Tabes. — MINES DE CUIVRE.

1. *Montferrier, Martinat* et *Bourdettes*, deux affleurements, pyrite et cuivre gris.
2. *Montaillou*, près Prades.

MINES DE ZINC.

1. La *Single des Charbonniers du Pouech* (Aulus), blende.
2. Le *Tail de Catoy* (Aulus), blende.
3. Le filon *Laussot* (Aulus), blende.
4. Le filon *Charles-Laurent* (Aulus), blende.
5. Le filon *Ferrère* (Aulus et Pouech), blende.

Région de Tabes. — MINES DE PLOMB ZINC, ARGENT.

1. *Col de Montségur*, à Montferrier, galène.
2. *Bordes Espaillade*, id.
3. *Paquetagre* et *roc de Curbeil*, id.
4. *Mérigot*, id.
5. *Col de Lauze*, id.
6. *Tragine*, id.
7. *Col de la Selle* et *Saint-Genès*, id.

TERRAIN DÉVONIEN. — MINES DE CUIVRE.

1. *Méras de Nescus*, cuivre en mouches avec plomb.
2. *La Cazace, Castelnau*, cuivre carbonaté en mouches avec baryte.

MINES DE ZINC.

1. *Saint-Antoine*, bord de la route, blende et fer carbonaté.

MINES DE PLOMB.

1. *Freychinet*, galène, deux affleurements.
2. *Alzein*, galène et fer carbonaté.
3. *Douache de Rimont*, baryte et galène en mouches.
4. *Moulin de Dunglas*, près Lacour, galène et blende.
5. *Alzein Balansa*.
6. *Alzein Montredon*.
7. *Alzein*, deux affleurements.
8. *Le Sarrat d'Agréou*.

MINES DE MANGANÈSE PYROLUSITE.

1. *Montagaque.*
2. *Estaniels.*
3. *Larbout.*
4. *Esplas*, quartier de Brachy.
5. *Esplas*, quartiers de Rouges et Brachy.
6. *Camel.*
7. *Les Crabious du Nert.*
8. *Arbosi de Riverenert.*
9. *Coumenges* et *Lassale*, d'Encourtiech, deux affleurements.
10. *Le Garié d'Encourtiech.*

GRÈS BIGARRÉ. — MINES DE CUIVRE.

1. *Soulé de Tresbens.* Anciens travaux.
2. *Le Gayet*, cuivre gris. Id.
3. *Moutou.* Grands travaux anciens.
4. *Le Coffre.* Anciens travaux.
5. *Les Atiels.* Très-grands travaux anciens.
6. *Camel*, *Eychartas*, *Micou de Castelnau*, cuivre carbonaté et cuivre gris.
7. *Eycheil*, pauvre.
8. *Balacet*, traces cuivreuses.
9. *Izarein.* Nouveaux travaux.
10. *Saint-Lary.* Anciens travaux.
11. *Les Gardes de la Bastide de Séron.* Anciens et nouveaux travaux.

MINES DE MANGANÈSE.

1. *Naudy*, près Montels.
2. *Guinou*, près la Bastide de Séron.
3. *Sourre.*
4. *Les Atiels.*

MINES DE PLOMB.

1. *Les Gardes de la Bastide de Séron.*

LIAS SUPÉRIEUR. — MINES DE CUIVRE.

1. *Montagne d'Arreing*, commune d'Argein, *Bellongue*, pyrite.
2. *Ancazein*, pyrite.

MINES DE PLOMB ET ZINC.

1. *La Souquette* du val d'Augirein (Bellongue), deux affleurements, galène et blende.
2. Forêt domaniale d'*Argein*, galène et blende.
3. *Caumont*, sur le bord de la route, alquifoux.

RUISSEAUX AURIFÈRES.

1. Le ruisseau de la *Beuze*, la Bastide de Séron, etc.
2. *Scoutex.*

3. *Mazères.*
4. *Tarol.*
5. Ruisseau de *Ségalas*, en face d'Ordes (Durban).
6. *L'Arize*, à Durban.
7. *Le Salat*, entre Seix et Soueix.
8. *Le Nert*, à son embouchure.
9. *Le Salat*, entre Bonrepeaux et la Cave.

Nous aurons maintenant une idée des formes et de l'importance des gisements de l'Ariége en parlant particulièrement des mines de l'arrondissement de Saint-Girons, qui ont été décrites par Dietrich et récemment par M. de Mussy[1].

C'est, d'ailleurs, dans cette partie du département que se trouvent les travaux les plus nombreux et les travaux anciens les plus considérables, tels que ceux d'Aulus dont Malus a donné en 1600 une description si pittoresque[2].

Mine de Laquorre. — Travaux anciens importants sur un filon couche, ayant le calcaire au toit et les schistes au mur, se soutenant avec une remarquable régularité à 500 mètres environ au-dessus du Garbet.

Direction : N. 80 E.

Inclinaison : 45 à 55° au sud.

Salbandes terreuses bien déterminées sur 200 à 250 mètres.

Puissance variable de 1,20 à 0,40.

Gangue : Elle est généralement terreuse.

Minerai : Galène massive et disséminée. Carbonate de plomb, calamine.

La teneur en argent du plomb carbonaté est de 120 à 150 grammes aux 100 kilos. Celle des galènes est beaucoup plus grande. 62 pour 100 de plomb.

Il y a peu d'années les fonds des anciens travaux étaient encore inondés et inconnus malgré les belles apparences du gisement. Cette mine fut exploitée avec succès dans le siècle dernier. Vers 1838 des travaux assez importants y furent exécutés, mais l'exploitation fut bientôt suspendue.

Dietrich jugeait que cette mine devait fournir des bénéfices et M. de Mussy considère que des recherches sérieuses y seraient certainement couronnées de succès.

Mine de Lauqueille. — Filon couche entre les calcaires et les schistes comme le précédent, mais plutôt une imprégnation du toit calcaire par la galène sur des puissances variables atteignant 2 et 3 mètres, et au contact des schistes dont il n'est séparé que par une mince couche d'argile.

1. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale.*
2. De Mussy. Anciens minéralogistes.

Direction : N. 70 E.
Inclinaison : 60° au sud.
Gangue calcaire.
Minerai : Aux affleurements, il était uniquement composé de blende à larges facettes, en grandes masses; séparé du gîte inférieur de galène par des parties calcaires spathiques stériles. La blende donnait 50 à 55 pour 100 de zinc. La galène lavée rendait 60 pour 100 de plomb et 150 à 160 grammes d'argent aux 100 kilos.

Ce minerai est disposé dans le calcaire par colonnes verticales. Son exploitation actuelle exige des galeries d'écoulement inférieures.

Mine des Argentères. — Nous rappelons ici cette mine à cause de son voisinage avec celle de Laquorre dont elle n'est distante que de quelques centaines de mètres. Son nom seul indique qu'elle a été l'objet de travaux anciens comme les précédentes.

On y connaît deux filons de quartz distants de 30 à 40 mètres, très-rapprochés du granite traversant les couches de calcaire de transition. Leur puissance varie de 0,50 à 1 mètre, ils courent dans la direction N. 50 à N. 60 O., et sont reliés entre eux par de petits filets quartzeux qui recoupent le calcaire dans tous les sens. La galène qu'on en a extrait, donnait 150 à 200 grammes d'argent.

Le gîte connu et anciennement travaillé consiste en une masse verticale limitée dans tous les sens, de 12 à 15 mètres de longueur, de 4 à 5 mètres de largeur, appliquée à l'un des filons quartzeux. Cette masse est formée d'un mélange varié de quartz, mica, spath calcaire et ferrugineux, blende et galène, le tout en forme de brèche à ciment quartzeux. Le minerai forme en profondeur $\frac{1}{50}$ de la masse totale ou 2 pour cent.

Ce gîte a été l'objet de plusieurs tentatives infructueuses. Dietrich disait : « Je fais peu de fond de son succès. »

La montagne du Pouech située entre le Garbet et l'Arce, au-dessus d'Aulus, est traversée presque de l'est à l'ouest par plusieurs systèmes de filons, formant faisceaux, qui s'étendent et se prolongent au loin au travers du département et semblent se réunir dans cette montagne.

Ces systèmes sont, d'après M. de Mussy :

1° Groupe plombeux des anciens, la Chassotte, la Freychinière; dirigé N. 70 E.

2° Groupe de la Single, Sagette, etc., plomb et zinc; dirigé N. 80 O. à N. 20 E.

3° Groupe du Trou-des-Yeux, Sainte-Barbe, etc., plombeux; dirigé N. 70 O.

4° Groupe cuivreux des Escanarades; dirigé N. 75 à 70 E.

Tous les gîtes du premier groupe, depuis les travaux romains du Garbet jusqu'à la Freychinière, sont compris dans une bande étroite de

50 mètres au plus; ils sont généralement parallèles et caractérisés par des minerais à grains fins riches en argent. Ils font suite aux mines de *Laquorre* et de *Lauqueille* situées sur la rive droite du Garbet.

Dans toute cette étendue de plus de deux kilomètres on trouve presque sans interruption des travaux anciens ou modernes, ou des indices dignes de recherches.

Mines du Pouech. — Ces mines, appartenant au premier groupe, montrent à la surface les vestiges nombreux d'anciennes excavations, qui s'étendent en écharpe en remontant la montagne du Pouech, dans la direction N. 70 E., et s'élèvent à plus de 100 mètres au-dessus du Garbet. De grandes ouvertures béantes, qui se succèdent sur le sol, dominent de nombreuses galeries, et des vides vastes et profonds donnent une idée des anciens travaux et de l'activité qui, jadis, régna dans ces lieux.

La tour de Castel-Minier, qui domine le Garbet, témoigne encore aujourd'hui de l'importance de cette exploitation; un village entier de mineurs existait sur les lieux, et au château se trouvait, suivant l'expression de Malus, « la grande fonte ou l'on fondait l'or et l'argent. »

C'est là que se trouvent en effet les mines que Malus visita en 1600 et dont la vaste étendue produisit sur lui l'étonnement le plus profond, étonnement qui nous a été transmis par Malus fils[1]. « Il y a, dit-il, dans cette « grande montagne, appelée le Pouech-de-Gouas, plusieurs grands voyages « faits pour tirer les mines, ayant les uns demi-lieue d'étendue dans la « montagne, les autres un quart, les autres trois quarts, quelques-uns « une lieue et les autres une lieue et demie plus ou moins, etc. Vers le « sommet de la montagne, il y a un trou fait en forme de puits, si pro- « fond qu'il va jusqu'au fond de la montagne... En divers endroits ont « été trouvé de grands soupiraux ayant les uns 6 brasses de largeur, « les autres 4, les autres 2, plus ou moins de profondeur, de 40, 60 et « 80 brasses... Il s'y trouve tout auprès 87 *meules* à moudre les mines, « éparses çà et là. »

On peut encore à présent pénétrer dans ces immenses travaux, et les quelques détails que nous venons de donner suffisent pour montrer l'importance que ces travaux durent avoir à une certaine époque.

Aujourd'hui nous sommes naturellement portés à nous demander quelle peut être la cause de leur abandon. Au temps de Malus, la tradition croyait que ces mines avaient été dévastées par les Catalans qui ravagèrent tout le pays de Couserans; mais, suivant l'opinion de Dietrich, qui semble être la plus vaisemblable, les travaux, parvenus à une profondeur qui exigeait l'emploi de moyens plus puissants que ceux dont on disposait alors, durent être abandonnés.

Dans tous les cas, on ne peut voir sans regret le délaissement persis-

1. Anciens minéralogistes.

tant qui a régné dans ces lieux depuis tant de siècles après tant d'activité, dont la dernière époque dut être sans doute au temps du moyen âge.

Le gisement, sur lequel ces travaux sont ouverts, présente la plus grande analogie avec le gîte de Lauquesille, mais il affecte des proportions bien plus considérables.

Il consiste en une imprégnation puissante des calcaires, au contact des schistes, par la galène riche en argent dans une gangue spathique.

La Chassotte. — Gîte faisant suite aux travaux romains, semblable à celui de Laquorre. Minerai de plomb à 300 grammes d'argent aux 100 kilos.

Les Raspes. — Les anciens travaux des Raspes se trouvent à 300 mètres au-dessus de la vallée de l'Arce, dans la montagne du Pouech. On y voit de grands vides de 150 à 200 mètres d'étendue et de plus de 80 mètres de profondeur.

Gisement. — Filon entre le calcaire et les schistes.

Puissance : 0,50 à 1 mètre.

Inclinaison : 70 à 80° au sud.

Salbandes terreuses où étaient disséminées la galène, la blende et la calamine. Des travaux ont été entrepris vers 1862 pour pénétrer par galeries au-dessous des anciens ouvrages.

La Freychinière. — A 30 mètres au-dessus de l'Arce, un filon anciennement travaillé.

Puissance : 1 mètre à 1,50.

Direction : N. 70 E.

Inclinaison : 70° au sud.

Gangue : Calcaire cristallin.

Minerai : Blende avec un peu de galène et de pyrite de fer. La blende occupe le 1/3 de la masse.

Ce filon est suivi par un filon de pyrite de fer de 0,50 à 1,50, qui en est distant de 4 à 5 mètres, visible sur plus de 200 mètres.

Les deux gîtes suivants qui appartiennent au 2e groupe indiqué ci-dessus recoupent dans la montagne du Pouech les gisements précédents; ils sont dans le voisinage des calcaires et des schistes, peu continus en direction, discordants avec les couches de la montagne, et ne contiennent que de la blende à larges facettes avec chaux spathique. Ce sont :

La Single-des-Charbonniers. — Filon dans une masse de calcaire cristallin.

Le Tail du Catoy, où des anciens travaux ont été reconnus et divers filons à la *Palistre*, auprès des *Raspes*.

Trou-des-Yeux. — Situé à 150 mètres au-dessus du Garbet, en descen-

dant le Pouech de la Single vers le nord. Assez grand nombre de filons au travers des schistes.

Minerai : Galène avec blende à grains fins, riche en argent, mais moins qu'à la Chassotte et aux Raspes. Il est disposé en colonnes à peu près verticales dirigées N. 70 O., et souvent disséminé au milieu des schistes.

Dans leur voisinage se trouvent des bancs de porphyre euritique.

Montagne des Escanarades. — On y connaît trois gîtes ou filons à peu près parallèles, assez rapprochés, sur lesquels ont été pratiqués des travaux dans le siècle dernier. Leur direction se rapproche de N. 70 O.

1er filon, au quartier de Commartis. — Quartz, pyrite de cuivre avec grains de galène et blende, spath calcaire entre le schiste et le calcaire.

2e filon. — Gangue de chaux spathique avec cuivre pyriteux, accolé à un petit filon de blende.

3e filon. — C'est celui sur lequel ont été principalement faits les anciens travaux; il est dans les schistes.

Puissance : 0,60 à 1 mètre.

Minerai. — Pyrite de cuivre, carbonate de cuivre, avec quartz et spath calcaire assez abondants. Il renferme, dit-on, de l'or et de l'argent en notables quantités.

Dietrich rapporte qu'un essai de 1775 fait par M. Sage a donné 8 marcs, 2 onces, 5 gros, 24 grains d'argent, et 2 marcs, 4 onces, 2 gros d'or au quintal de cuivre; soit environ 4 kilos d'argent et 1000 grammes d'or aux 100 kilos de cuivre métallique. Il semble douter de la valeur de ces résultats, qui, je crois, n'ont jamais été vérifiés depuis.

Les travaux du siècle dernier étaient encore comblés et inondés il y a peu d'années.

La plupart des mines, dont nous venons de parler, se trouvent dans les concessions d'Aulus et de Pouech. Quelques travaux de peu d'importance y ont été faits récemment, mais ils ont dû être bientôt abandonnés par suite de la chute de la Société qui les avait entrepris, chute occasionnée, non par le travail des mines, mais par suite d'une organisation première qu'il ne nous appartient pas d'apprécier ici.

Il est évident, pour tout homme qui a quelque connaissance de l'allure des anciens travaux en général, que les mines de ces deux concessions ont dû être d'une richesse exceptionnelle, et il paraît non moins certain que les travaux n'ont pas été suspendus pour cause de l'épuisement des filons. Là, comme ailleurs, dans des cas semblables, on peut considérer que les anciens n'ont pris que les têtes des gisements et on peut croire avec raison que les richesses qu'ils renferment s'étendent profondément et intactes au-dessous du niveau du Garbet. C'est ce que l'on pourra constater quand une Société sérieuse voudra y appliquer les forces nécessaires, et pratiquer des galeries d'écoulement qu'il est souvent possible d'ouvrir dans ces montagnes.

Vallée d'Ustou. — On y retrouve trois des systèmes reconnus dans la montagne du Pouech. Le système plombeux nord n'a pas encore été constaté, mais, plus bas, dans les mines de Seix, il est largement représenté et accompagné constamment par le groupe cuivreux.

Cette vallée renferme des mines importantes.

Calamine du col d'Escotz. — Ce gîte a été reconnu par M. de Mussy, près du col d'Escotz. Contact des calcaires et des schistes, avec ocre et blende de près de deux mètres d'épaisseur; il en considère l'affleurement comme le chapeau d'un filon appartenant au premier groupe de ceux du Pouech. Il se trouve dans l'alignement des mines du Pouech et de celles d'Ustou.

Mine de Carbouère. — On y connaît plusieurs filons ou plutôt plusieurs couches à peu près parallèles, presque verticales, dans une épaisseur de schistes d'environ 130 mètres, et concordant avec leur stratification. Leurs affleurements peuvent être poursuivis sur plus de trois kilomètres.

Ils se rapprochent quelquefois jusqu'à se toucher et sont peu éloignés de filons de porphyres euritiques. On peut les considérer comme des couches schisteuses imprégnées de minerai, et cette imprégnation a quelquefois une puissance de 1,50. Leur direction est N. 80 E., ou à peu près E. O.

Le minerai renferme, pour deux de ces filons, 150 à 160 grammes argent aux 100 kilos, et pour le troisième, qui est le plus au nord, 90 gr.

Ces gisements ont été travaillés par les anciens dans le siècle dernier et dans ces dernières années. On peut les attaquer par des galeries d'écoulement nombreuses et basses.

D'après Dietrich, ces mines paraissaient susceptibles d'une exploitation considérable.

Montagne d'Anglade. — Anciens travaux sur un filon massif dans les schistes.

Direction : E. O.

Dietrich y rappelle un grand filon de pyrite de fer, probablement le même que celui dont parle M. de Mussy, formant le toit du précédent, et renfermant du fer carbonaté et du fer oxydulé magnétique.

Le système cuivreux des Escanarades est représenté dans ces vallons par les filons quartzeux et pyriteux d'Ichedetz, qui furent travaillés dans le siècle dernier.

Mines de Sentein. — Des travaux considérables ont été ouverts, dans ces dernières années, pour l'exploitation des couches métallifères et particulièrement plombeuses, qui s'étendent depuis le quartier de Chichoix jusque dans la vallée d'Aran où elles sont aussi, dans ce moment,

l'objet de travaux particuliers. On peut considérer ce gisement comme formé d'une succession de poches presque horizontales, avec un léger pendage au nord, situées entre les schistes du toit et le calcaire du mur, et reliées entre elles par un banc terreux de 0,30 à 0,50 d'épaisseur, qui sert de guide aux recherches.

Les travaux en cours d'exécution ont mis à nu des masses de blende et galène de 3 à 4 mètres de puissance sur 6 à 7 de longueur en direction, et même 15 mètres de largeur sur 4 mètres de haut. Ces poches sont souvent enclavées dans les irrégularités du mur.

Outre ce gisement principal, on trouve dans le mur lui-même, et souvent fort loin, de nombreuses poches de minerai sur lesquelles des travaux assez considérables ont été entrepris à diverses époques. Ces poches n'ont jamais donné de grands résultats.

Tous les minerais qu'on extrait de ces mines sont amenés au bocard de Sentein, et la galène qu'ils fournissent rend 60 à 65 p. 100 plomb et 55 à 65 grammes d'argent aux 100 kilos de minerai. On y a rencontré abondamment des terres plombeuses tenant 60 à 70 et 25 à 40 pour 100 de plomb, 45 à 50 et 15 à 35 grammes d'argent aux 100 kilos, et des blendes et calamines terreuses assez abondantes.

Ces mines, très-remarquables par l'abondance du minerai, ont eu, depuis 1848, des périodes de travail actif succédant à un état de langueur qu'on a pu constater quelquefois. Une telle situation provient vraisemblablement, non-seulement de la faible teneur des galènes en argent, mais surtout de leur accès difficile.

Filon d'*Uretz*. — Cuivre. *Direction :* N. 80 E. Concordant avec celle des couches de schiste talqueux qui l'encaissent.

Inclinaison : 70° au nord ; il recoupe les couches qui plongent au sud.

Puissance : 1 mètre à l'affleurement.

Minerai : la pyrite de fer domine la pyrite de cuivre.

Aux environs de Seix se trouvent d'anciennes mines, parmi lesquelles nous citons :

Mine d'*Escalatorte*. — Elle paraît posséder la suite, par la rive droite du Salat, des filons de *Moulibas*. On y distingue deux formations, l'une cuivreuse et l'autre plombeuse, marchant de pair.

Le gisement est enclavé dans des schistes noirs qui ont 7 à 8 mètres de puissance.

Puissance variable : $0^m,50$ à $2^m,50$.

Direction : N. 75 à 70 O.

Inclinaison : 70°.

Minerai. — Pyrite de cuivre et galène dans une gangue de quartz et de chaux spathique; il paraît disposé en colonnes puissantes. La galène est à grains fins et riche en argent.

En descendant le Salat, on retrouve les vieux travaux de *Sakucette* et de l'*Estours*, ouverts sur un filon quartzeux de 1 mètre, avec pyrite de cuivre et carbonate dirigé N. 50 à 55 O.

Ce même filon se poursuit aux anciens travaux d'*Aubac*, au bas de la vallée. Il atteint 10 mètres de puissance.

Filon de *Mimort*. — Plomb argentifère. Travaux considérables du siècle dernier. Il est situé près du filon quartzeux précédent, qu'il recoupe, et les points de jonction ont produit de notables enrichissements signalés par les vides des anciens travaux.

La galène de Mimort donne de 100 à 800 grammes d'argent aux 100 kilos.

Mousq. — Travaux anciens signalés par de nombreux déblais ouverts sur le prolongement du filon quartzeux précédent, offrant, comme à Escalatorte, le rapprochement de deux gîtes, l'un de plomb et l'autre de cuivre.

La montagne de *Mimort* est traversée par un certain nombre d'autres filons plus ou moins puissants, pouvant tous se rattacher plus ou moins directement aux précédents.

Tels sont les filons de cuivre de *Mède*, dirigé N.-S., enclavé dans les calcaires marbre, et ceux de *Moulibas*, de *Bonrepeaux* et du clos des *Rames*.

Mine de la Souquette. — Elle est située sur la rive gauche du vallon d'Angirein, presque aux limites ouest du département. Anciens travaux sur un filon de galène très-argentifère.

Direction : N. 35 E.

Puissance : plus de 1 mètre.

Minerai: galène avec un peu de blende et de pyrite de fer. Elle a rendu 28 p. 0/0 plomb et 240 grammes d'argent aurifère aux 100 kilos[1]. Des affleurements analogues se montrent sur la rive droite du même vallon.

Dans les mêmes localités, sur les deux versants de la chaîne de montagnes qui sépare les vallées de *Bellelongue* et *Sentein*, on rencontre divers affleurements de minerai de cuivre au contact des grès du trias et du calcaire.

Telles sont les mines d'*Irazein*, de *Saint-Lary*, et autres, qui font l'objet de légendes fabuleuses concernant des mines d'or gardées par des dragons.

La présence de l'or a été constatée à la mine d'*Irazein*, et les minerais qui en proviennent tiennent 36 p. 100 de cuivre et de 100 à 880 grammes d'argent aux 100 kilos.

1. Comptes rendus de 1846.

Mine de Montconstant. Cadarcet. — Située au pied de la montagne de ce nom. Elle se trouve à côté de nombreux affleurements de minerai de fer plus ou moins pyriteux, enclavés dans les schistes appartenant à la partie supérieure des terrains de transition.

Le gisement constitue un amas régulier dans une bande calcaire, reposant sur des schistes pyriteux, et séparée des grès du trias par des roches métamorphiques telles que des eurites, des roches feldspathiques et des schistes amphiboliques. Cet amas, dirigé N.-S., forme une sorte de colonne à épaisseur variable, croissant avec la profondeur, dans laquelle le minerai de galène et de blende se présente en chapelets.

La galène contient 75 à 80 p. 100 de plomb et 20 à 35 grammes d'argent aux 100 kilos ; elle est souvent associée à la chaux carbonatée et sulfatée. On la vendait, vers 1870, à raison de 220 francs la tonne, prise sur le carreau de la mine[1].

Mine de Rivernert. — A peu de distance au sud de Saint-Girons, se trouve la montagne de Rivernert, aux pentes rapides, et dont les sommets dominent les eaux du Salat d'environ 1 000 mètres. La tradition y a conservé le souvenir des anciens travaux qu'on y voit encore, et des légendes qui peuvent n'être que le résultat du travail de l'imagination, rappellent des mines d'or dans la vallée du Nert.

Quoi qu'il en soit, si les recherches faites dans ces dernières années n'ont pas reconnu la présence de l'or, elles ont néanmoins constaté l'existence de minerais d'une très-grande richesse en argent.

Dans la concession des *Abères*, qui se trouve sur cette montagne, on connaît plusieurs filons de plomb argentifère, dont deux dits, l'un filon du *Bès*, dirigé N.-S., et un second, E.-S., dit filon du *Tuc*, ont plus particulièrement attiré l'attention dans ces derniers temps.

Le filon N.-S est très-régulier et très-étendu. Sa puissance est souvent très-restreinte ; mais ses épontes schisteuses sont elles-mêmes imprégnées de galène sur des épaisseurs variables de 2 à 10 mètres en quelques points[2].

Il a été travaillé par les anciens ; mais les épontes sont restées intactes, et elles paraissent offrir aux exploitants une ressource immédiatement utilisable.

Minerai. — Il consiste en galène et blende argentifères dans une gangue quartzeuse et barytique. La teneur en argent, très-variable, a donné sur quelques points $3^k,33$, et sur d'autres 44 grammes seulement aux 100 kilos de plomb d'œuvre. Diverses analyses ont fourni 23 et 32 p. 100 de plomb, 540 et 579 grammes d'argent aux 100 kilos de minerai.

1. De Mussy (1872).
2. Rapport de M. Deberripon.

Le filon E.-O est également encaissé dans des épontes métallifères; mais le minerai y est plus particulièrement composé de blende argentifère, associée à la baryte sulfatée, difficile à séparer par le lavage.

Les blendes donnent souvent de 200 à 250 grammes d'argent aux 100 kilos de minerai.

La haute teneur en argent que nous venons de constater dans cette localité semble appeler sur elle une attention toute particulière. Les anciens n'ont travaillé que les parties les plus pures et les plus riches, et ils ont laissé sous leurs pieds, au fond de leurs travaux, aujourd'hui noyés, la continuation de ces filons qu'il est facile de recouper par des galeries d'écoulement.

La rapidité des montagnes et leur hauteur permettent de multiplier ces galeries sans qu'elles soient d'une grande longueur.

Mine de cuivre du Coffre. Mine des Atiels. — Ces deux mines appartiennent à un même horizon de grès bigarrés renfermant à leur base une couche assez puissante de baryte sulfatée, souvent associée à des pyrites et à des carbonates de cuivre assez abondants pour y donner lieu à des exploitations. Vers la métairie du *Coffre*, au voisinage du *Col del Bouich*, etc., le sol montre des effondrements et des déblais qui témoignent de la présence d'anciens travaux étendus. La mine des *Atiels* a été aussi l'objet de travaux anciens très-considérables, en partie accessibles, que la tradition rapporte aux Romains. Ce gîte était en exploitation dans la seconde moitié du siècle dernier.

Montels. — Manganèse. — Gisement intercalé dans la partie supérieure du grès, réparti au milieu d'une couche de poudingue rouge très-quartzeuse.

Puissance : 1 mètre. Des travaux étendus y sont exécutés depuis un certain nombre d'années, notamment entre *Montels* et *Labastide*.

Or.— L'or est considéré comme existant dans un grand nombre de gisements de l'Ariége, et les documents anciens tels que ceux de la baronne de Beausoleil, de Malus, d'Hellot, etc., se joignent aux traditions et aux légendes pour constater sa présence. Dietrich nous a également donné une description détaillée de l'historique et de la situation des exploitations d'or dans l'Ariége dans le siècle dernier.

Ces exploitations étaient pratiquées sur les sables, argiles tertiaires et alluvions qui se montrent à la base des Pyrénées dans toute l'étendue du département et dans la profondeur de plusieurs de ses vallées.

Les terrains où l'or est disséminé, résultant de la désagrégation des montagnes qui les dominent, ont une grande analogie avec les terrains aurifères de la Bolivie, de l'Oural ou de l'Altaï.

En résumé, et sans entrer dans plus de détails, nous voyons que le

département de l'Ariége est un des départements de la France les plus remarquables au point de vue de la richesse minérale qu'il possède.

Le fer y est d'une abondance exceptionnelle, et le plomb, l'argent, le cuivre s'y trouvent dans une multitude de gîtes que les anciens ont quelquefois travaillés jusqu'au-dessous du niveau des vallées, dont ils pouvaient fondre le minerai sur place à l'aide du charbon des forêts avoisinantes, et qui conservent encore des minerais abondants dans leurs profondeurs.

Les progrès croissants dans les procédés de forage des roches, et l'amélioration progressive des voies de communication permettent de croire qu'un jour viendra où l'on n'hésitera pas à attaquer ces gisements par de longues galeries d'écoulement et où ces richesses, étudiées et poursuivies par des ingénieurs habiles, pourront remplacer une grande part des métaux que la France achète aujourd'hui à l'étranger.

Département de la Haute-Garonne.

Dans ce département, aucune mine n'était en activité en 1873.

Dans les hautes montagnes qui dominent la vallée de la Pique, on voit des traces d'anciens travaux abandonnés depuis longtemps, dont une grande partie fut probablement exécutée, vers la fin du siècle dernier, par M. de Gestas, à qui la concession des diocèses de Tarbes et de Comminge avait été accordée en 1780. C'est encore dans cette même contrée que M. de Beust exploitait un filon de cobalt à Juzet, vers la fin du siècle dernier. L'usine où on traitait ce minerai était à Saint-Mamet; elle fut transformée, vers 1848, en une fonderie de plomb qui devait traiter les diverses substances plombeuses et argentifères des environs. Aujourd'hui (1873) cette usine est transformée en un orphelinat.

Cette fonderie et les exploitations destinées à l'alimenter devaient succomber sous le poids onéreux et excessif des frais de transport, et la plupart des concessions obtenues jusqu'alors furent renoncées en 1862.

Cependant on exploita pendant quelque temps, avec profit, des gîtes de manganèse que M. l'ingénieur Maurice sut reconnaître, à cette époque, au Portet-de-Luchon et à Germ; ils se rattachent aux gisements importants de même nature exploités aujourd'hui dans la vallée d'Aure (Hautes-Pyrénées) et dont la découverte est due à M. Maurice.

Énumération des gisements donnés par Dietrich (1787).

Vallées.	Nature.	Gîtes.	Paroisses.	Montagnes.	Observations.
					Généralité d'Auch. — Diocèse de Cominges.
Saint-Béat.	Fer et cuivre.	Filon......	Melles.....	Daouran.....	Susceptible d'être tenté.
—	Cuivre.....	Id.....	Id.....	Morédetz....	Mal exploité. Travaux suspendus.
—	Pyrite, cuivre et fer.......	Id.....	Id.....	Id......	Id. Peu de filons donnant autant d'espoir.
—	Plomb......	Veines.....	Id.....	D'Atooulassan.	Anciens travaux. Ne mérite pas de reprise.
—	Id......	Id.....	Id.....	Ulls........	Mérite des travaux.
—	Id.......	Filon......	Id.....	Combe de Ger.	Id.
—	Plomb, argent	Id.....	Id.....	Argut-Dessus.	Ne méritent pas d'attention.
—	Id......	Veines.....	Id.....	Arembass et Etelet.......	Id.
—	Cuivre......	Id.....	Artigues....	Antignan....	Filon très-apparent du côté de l'Espagne.
Quatre-Vallées.......	Id......	Filon......	Estenos....	Près Saléchan.	Mérite d'être exploitée [1].
—	Id......	Id.....	Id.....	Sajetz.......	Id. en suspens.
—	Id......	Id.....	Id.....	Près du pré du Basch....	Id. id.
—	Id......	Id.....	Id.....	Mail de Castet.	Id.
Luchon....	Cobalt......	Id.....	Juset......	Ruisseau de Juset.......	Exploitée par M. de Besst.
—	Plomb, cuivre, zinc.......	Id.....	Montauban..	Montauban...	Susceptible d'être exploitée.
Lys.......	Plomb, argent	Id.....	Saint-Mamet.	La Pique....	A été mal exploitée. Abandonnée
—	Id......	Id.....	Id.....	De la Fraîche.	Nouvellement découverte.
L'Arboust..	Id.......	Id.....	Luchon....	Luchon.....	Mal exploitée.
Naisto.....	Cuivre......	Masses.....	D'Oo......	L'Esquierre..	Susceptible d'être exploitée.
—	Plomb, argent	Filon.....	Id......	Id......	Mal exploitée.
—	Pyrites.....	Masses.....	Id.....	Lac de Culégo.	A rechercher.
—	Cuivre, zinc..	Filon......	Id.....	D'Oo de l'Espingue......	Id.
—	Plomb, argent	Id.....	Id.....	D'Oo, rocher de Silvervacça	Mal exploitée. Gangue de granite.

1. Cette mine se trouve dans les Hautes-Pyrénées, sur les confins de la Haute-Garonne; nous la laissons dans l'ordre donné par Dietrich.

A la liste précédente nous ajouterons les gisements suivants :

Portet-de-Luchon, manganèse. Concession de 1866, sur 124 hectares.

Cazeaux, *La Grille*, *l'Argentière*, *Barren*, *Cier-de-Luchon*, plomb argentifère.

Moustajon, plomb argentifère et blende.

Barcugnas, id.

Sacourvielle, galène argentifère.

Glaciers de *Carabioule*, blende, accès difficile; puissance 2 mètres.

Montagne de *Poubeau*, antimoine sulfuré, en chapelets dans les schistes.

Gourons, pyrite arsenicale aurifère; veines irrégulières.

Montagne de *Raze*, commune de Melles, bismuth, citée par Dietrich.

L'exploitation de la plupart de ces mines, dont quelques-unes parais-

sent abondantes et riches, sera entravée longtemps encore par la difficulté des transports et par leur faible rendement en argent. Cependant quelques-unes d'entre elles se trouvent favorisées par le voisinage du chemin de fer de Luchon. Telles peuvent être les mines de la vallée de *Saint-Béat*, *d'Ulls*, *Melles*, *Argut*, ou celles que l'on rencontre dans la vallée de la Pique au-dessous de Luchon.

Mine d'Ulls. — Elle est située au sommet du mont *Crabère*, à 2,200 mètres d'altitude et consiste en veines de galène disposées parallèlement aux feuillets schisteux qui les encaissent. Leur puissance massive y atteint jusqu'à 0,15.

La teneur de la galène est d'environ 44 kilos de plomb, 75 grammes d'argent et 0 gr. 375 d'or aux 100 kilos.

Cette mine peut être exploitée seulement pendant l'été, à cause de sa grande élévation, mais on en peut tirer une quantité assez considérable de minerai.

Le plateau d'Ulls présente encore de vastes dépôts de bonne tourbe qui pourrait peut-être être utilisée dans le traitement du plomb.

Territoire de *Melles*. — Il renferme des gisements importants qui furent anciennement et dans le siècle dernier l'objet de travaux étendus. Les anciens documents rappellent les gisements de cuivre, de zinc et de plomb auro-argentifère de la *Combe-de-Ger*, d'*Ateoulassau*, de *Morédetz* et de *Daouran*, et dans ces dernières années on a découvert sur le plateau de Paléraze un filon puissant de même nature. Les explorations faites sur ce filon en 1869 ont reconnu des travaux anciens qui paraissent remonter au temps des Sarrasins et dont, jusqu'alors, on avait ignoré l'existence.

Les minerais de ce filon ont donné :

75 et 67 pour 100 plomb, 85 à 100 grammes d'argent et 2 à 5 décigrammes d'or aux 100 kilos de plomb.

D'après une note publiée à l'occasion de ces mines on voit encore que les minerais de Paléraze produisent 62 à 75 de plomb ;

135 à 160 gr. d'argent et 0g,5 à 0g,7 d'or aux 100 kilos de plomb.

Le bismuth a été rencontré sur la commune de Melles et dans la montagne de Raze. Sa présence avait été constatée déjà en 1778.

Le prix élevé de cette substance qui de 2f,50 en 1830 est parvenu à 40 francs en 1866, à 100 et 120 francs le kilo de sous-azotate en 1871, donne à ce gisement un intérêt tout spécial.

Mine d'Argut. — Elle est située au-dessus et à peu de distance de Fos, à une hauteur qui permet son exploitation pendant presque toute l'année. Les filons de galène, tantôt grenue, tantôt lamelleuse, mélangée de blende et de quartz, suivent la direction S. 30 E. des schistes encaissants.

La puissance de l'un d'eux, qui a été particulièrement travaillé dans le siècle dernier, variait de 0,10 à 0,30.

La teneur des minerais à l'usine de Saint-Mamet était de 40 de plomb et 66 grammes d'argent aux 100 kilos. Elle est souvent beaucoup plus basse et ne fournit que 6 à 700 grammes à la tonne de plomb. La blende qui les accompagne abondamment rend 55 pour 100 de zinc.

Mine de Juset. — Cobalt. Elle fut découverte en 1784 par M. de Beust qui avait élevé sur les bords de la Pique, à Saint-Mamet, une manufacture de safre et d'azur, avec fourneaux, bocards, moulins à 4 meules, lavoirs. Cette mine est depuis longtemps abandonnée. Elle était ouverte sur un filon de quartz situé au pied de la montagne nommée *Chédan*.

Argut, *manganèse*[1]. — La pyrolusite y occupe une bande peu épaisse située à la séparation des terrains anciens et des terrains calcaires. Elle se présente en amas irréguliers, sans direction constante. Elle remplit les crevasses et les fentes qui dominent le village.

Toutes ces mines se rattachent en quelque sorte aux faisceaux métallifères qui, venant de l'Ariége, passent dans la vallée d'Aran, et y sont l'objet d'exploitations actives. Nous avons eu occasion d'y voir des couches plombeuses et blendeuses massives de plus de un mètre de puissance.

C'est à ce même système, comme au même mode de formation, qu'appartiennent toutes ces indications plombifères que l'on retrouve dans la vallée de Luchon ou ses affluents, répandues en veinules entre les feuillets des schistes, presque parallèlement à la direction générale de la chaîne des Pyrénées, ou en filons, comme celles de l'*hospice de Venasque*, du lac d'*Oo*, des environs de *Cazeau*, de *Montauban*, du *Moustajon*, etc.

Ceux de ces gisements qui paraissent avoir le plus d'importance sont situés à des hauteurs telles qu'on ne peut y travailler que pendant une partie de l'année, et si quelques-uns d'entre eux présentent abondamment du minerai, il est à craindre que la teneur en argent et son abondance même soient encore insuffisantes pour surmonter les difficultés qu'occasionneraient les frais de transport et d'exploitation. Telle est au moins l'opinion généralement admise, opinion que partagent bientôt ceux qui ont visité les lieux.

1. *Mines des Pyrénées*, Hébert. Toulouse.

Département des Hautes-Pyrénées.

ÉNUMÉRATION DES GISEMENTS D'APRÈS DIETRICH (1787).

Vallées.	Nature.	Gîtes.	Paroisses.	Montagnes.	Observations.
			DIOCÈSE DE COMMINGES.		
D'Aure....	Plomb, argent	Filon......	Tramesaigues	De Guchan...	Mal exploitée.
—	Cuivre, fer, plomb, argent.	Id.....	Id.....	Id......	Mérite des recherches.
—	Pyrites arsénicales......	En masses..	Ancizan....	Du Pic d'Arbizon......	Excessivement abondante.
—	Id......	Id.....	Id.....	De la Côte d'Ouillere...	Id.
—	Cuivre......	Id.....	Id.....	De Montaroye.	Susceptible d'exploitation.
—	Id......	Filon......	Id.....	De Penérouge.	Id.
—	Pyrite......	En veine...	Id.....	D'Ancizan....	Peu considérable.
			DIOCÈSES DE TARBES, BIGORRE.		
De Lavédan.	Plomb, argent	Indéterminée	Hougaron...	De l'Esponne.	Anciens travaux.
De Bagnères	Zinc........	En masse...	L'Esponne..	De Conques..	Très-abondante.
—	Nickel et cobalt.........	En filon....	Lus.......	De la Carrière de Rieman..	M. de Beust en a tiré du bleu.
De Gavernie	Plomb, argent	Id.....	Gavernie...	De Courret...	Ancien travail, utile à reprendre.
—	Id......	Id.....	Id.....	De Cazenave..	»
—	Id......	Veines éparses......	Id.....	Du bois de La Haignisse...	Susceptible de recherches.
—	Cuivre et fer.	Filon......	Id.....	Ramounouille.	Id. mêlé de fer spathique
—	Plomb, argent	Id.....	Id.....	La Providence	Ancien travail. Mérite d'être continué.
—	Plomb......	Indéterminé.	Id.....	Du Trou des Maures.....	Anciens travaux comblés.
—	Plomb, argent	Filon......	Id.....	Près le ruisseau d'Edetz....	Découvert nouvellement.
—	Plomb, cuivre.	Id.....	Id.....	Ruisseau des Artigans....	Promet beaucoup.
De Héas....	Plomb, argent	Id.....	Gèdre dessus.	Du Turon des Artigues....	Anciens travaux. Méritent d'être suivis.
—	Plomb, cuivre.	Id.....	Id.....	De la Touyère.	Id.
—	Plomb, fer...	Id.....	Id.....	De la passade de l'Arbaret.	»
—	Plomb, argent	Indéterminé.	Id.....	De St-Philippe, étang de Héas	Anciens travaux noyés.
—	Id......	En veines...	Id.....	De Cazet id.	Mérite des recherches.
—	Id......	Filon......	Id.....	De la Raillère à l'Escrampètes	Anciens travaux qu'il faudrait pousser.
—	Plomb......	Indéterminé.	Id.....	De Pouiboucou	»
—	Id......	Filon......	Id.....	De Campeil...	Mérite des recherches.
De Lus.....	Plomb et zinc.	Rognons....	De Chaise...	De la Mayavat.	Exploitées par le marquis de Gestas[1].
—	Id......	Id.....	De Biscos...	De Biscos....	Exploitées ci-devant. — Sans durée.
De Cauterets	Cuivre......	Filon......	De Soulon..	Du Pic du Midi.	Mérite des tentatives.
—	Id......	En masses..	Id.....	Id......	Peut devenir fort utile.

1. M. le marquis de Gestas était concessionnaire de tout le diocèse de Tarbes.

Vallées.	Nature.	Gites.	Paroisses.	Montagnes.	Observations.
		DIOCÈSES DE TARBES, BIGORRE (*Suite*).			
Rivière de Saint-Savin.	Plomb, zinc..	Indéterminée	De Pierrefitte	De Coutre en l'Estiva......	Nouvellement découvert.
—	Id......	Id.....	Id.....	Ruisseau de Naverne....	Mal attaqué par M. de Gestas.
—	Plomb et pyrites.......	Rognons.....	Id.....	Au-dessus de la précédente.	Sans avenir.
—	Plomb, zinc..	Id.....	Id.....	R. de Lunoy.	Blende fort abondante.
—	Plomb, argent et zinc.....	En masses..	De Nestalas.	Du Bax ou Bats	Les anciens travaux y avaient été utiles.
—	Pl. et pyrites.	Filon......	D'Arsiçans..	De Law.....	Ancien travail, dans le cas d'être repris.
Vallée d'Azun....	Pyrite de fer.	Id.....	D'Arras....	D'Escalère...	Mérite des recherches.
—	Plomb......	Id.....	D'Arras et Cirès.....	De la côte d'Escampètes...	Exploité par la Cie de Gestas.
—	Plomb, zinc et argent.....	En masses..	Id.....	De Castillon..	Mal exploitée par la même Cie.
—	Plomb, zinc..	Deux filons..	Id.....	Id......	Anciens travaux. Susceptibles d'être continués.
—	Pyrite de fer et fer......	Filon......	Id.....	Du Mas des Hourgues...	Mérite une recherche.
—	Zinc et plomb.	Id.....	Id.....	De l'Espujos..	Anciens travaux considérables.
—	Id......	Id.....	Id.....	De Toua.....	»
—	Id......	Amas de veines.......	Id.....	Id......	Anciens travaux. Méritent d'être repris.
—	Id......	En masses..	Id.....	De Ringadis..	Promet.
—	Cuivre......	Indéterminée	D'Arras....	De Cassin à l'Estouas...	Ancien travail. Ne mérite pas attention.
—	Id......	Id.....	Id.....	De Nouaux...	»
—	Zinc et pyrite.	Id.....	De Cirès...	D'Arrouge...	»
—	Plomb, zinc et pyrites.....	Filon......	D'Aucun....	De l'Abat d'Aucun.......	Ancien travail.
—	Pyrite de fer.	Indéterminée	D'Aucun et de Marsons...	Du Pic du Pan.	»
—	Cuivre, plomb et zinc.....	Filon......	D'Avains...	Des Égouts...	Nouvellement découvert.
Vallée de Ventaigue..	Plomb......	Id.....	De Baucens.	Sous le Château	Peu d'espoir.
—	Cuivre......	Id.....	Id.....	De l'Aigue-Salatte......	Ancien travail qui mériterait d'être sondé.
—	Plomb......	Amas de veines.......	De Gazost..	De Lavaseil..	Mérite des recherches.
Vallée de Castel-Loubon........	Pl. arg. pyrite	Filon......	Id.....	De Las-Luses-Lie de Palouma	Anciens travaux considérables.
—	Plomb, argent.	Trois filons.	Id.....	De la Chourre.	Méritent d'être travaillés.

Concessions actuelles en 1870.

L'Atgéla, plomb argentifère. Concession de 1865, sur 817 hectares.
Saléchan, cuivre, plomb, argent. Id. 1859, sur 379 —

Héas et Gavernie, plomb, zinc, argent.		Concession de	1856, sur	1947	hectares.
Palourma,	id.	Id.	1856, sur	269	—
Pierrefitte,	id.	Id.	1856, sur	4200	—
Arau, près Saint-Pé,	id.	Id.	1856, sur	552	—
Vieille-Aure, manganèse.		Id.	1870, sur	976	—
Germ et Loudervielle, manganèse.		Id.	1870, sur	334	—

La concession de l'*Atgéla* possède plusieurs filons situés près de la frontière espagnole. Leur puissance varie de 0,30, 0,50, 1 et 2 mètres. Après avoir été travaillés à plusieurs époques, on a tenté de les reprendre vers 1848; les minerais devaient être transportés à la fonderie de Saint-Mamet.

Leur haute élévation et la faible teneur en argent des minerais rendront pour longtemps leur exploitation difficile. Les minerais analysés à l'usine de Saint-Mamet ont fourni 52 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb d'œuvre.

Saléchan. — Filons cuivreux verticaux dirigés N. N. E. On en a tenté l'exploitation dans le courant du siècle actuel, mais les travaux ont été bientôt abandonnés.

On voit un filon dirigé à peu près N. S. de plus de un mètre de puissance; épontes bien marquées, selon Dietrich, quartz et fer spathique. L'analyse que donne Dietrich indique, probablement pour un échantillon, un rendement de 35 pour 100 en cuivre, et 8 onces d'argent au quintal de cuivre.

Concession de Héas. — Elle est située à l'extrémité méridionale du département, dans les hautes et puissantes montagnes qui forment la limite espagnole, sur les gaves de Gavernie et de Héas.

Les filons qui lui appartiennent ont été pour la plupart décrits par Dietrich. Plusieurs d'entre eux ont été travaillés à diverses époques et notamment dans le siècle dernier. A ce moment les minerais non lavés étaient portés aux fonderies qu'on avait établies à Serrancolin, mais « les transports, dit Dietrich, devaient ruiner l'entreprise. »

L'abandon qui pendant longtemps a frappé la plupart de ces mines dans cette partie des Pyrénées paraît, d'après un ingénieur qui a particulièrement étudié ces contrées[1], devoir être attribué :

Aux changements fréquents d'exploitants;

Au défaut de persistance dans les travaux;

A la trop grande altitude des exploitations;

A l'absence des bons chemins de montagne, au mauvais état des routes, à l'inhabilité des ouvriers mineurs et fondeurs;

1. M. Sevin. *Note inédite.*

Au défaut de l'emploi de la blende et de la baryte, comme à l'emploi restreint du zinc.

Aujourd'hui les circonstances sont favorablement modifiées. Des chemins de fer viennent à Pierrefitte et à Bigorre et on voit exploiter activement des mines de manganèse, comme celles de Germ qui ne se trouvent pas relativement dans des conditions beaucoup plus favorables.

On connaît environ 20 filons dans la concession de Héas, courant tous dans des directions rapprochées de E. O., et qui se poursuivent sur des étendues de 1,000 à 2,000 mètres. Leurs puissances sont de 0,50 à 2 mètres, et la teneur en argent de la galène varie de 26 à 80 grammes aux 100 kilos de plomb.

Les principaux filons sont les suivants :

Filon du *Couret*. — Il a été travaillé par plusieurs exploitants, dans le siècle dernier, et notamment par des Anglais, sur plus de 100 mètres de hauteur. En 1852 des mineurs en extrayaient la galène qu'ils vendaient 150 francs la tonne rendue à Gèdres.

Puissance : 2 à 4 mètres.

Gangue : baryte abondante près de l'affleurement, quartz en descendant.

Minerai : il se présente en veines quelquefois puissantes. La teneur est de 28 à 33 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb. Avant 1789 on envoyait les minerais aux fonderies de Serrancolin.

La Providence. — Exploité dans le siècle dernier et antérieurement sur 80 mètres de hauteur.

Puissance : 1 mètre.

Direction : h. 12 4/8 environ, N. S.

Gangue : quartz, fer oxydé et chaux spathique.

Minerai : il paraît y exister abondamment. Les travaux anciens montraient encore récemment des placages de 0,40 à 0,50 d'épaisseur.

Les Artigaus. — Travaux anciens peu étendus. Dans le gneiss.

Puissance : 0,50 à 0,66.

Direction : h. 5, N. 75 E.

Salbandes d'hydroxyde de fer.

Minerai : galène à 20 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Gangue de fer spathique.

La Raillère. — Travaux anciens assez importants. Ce filon est formé de veines de galène alternant avec du fer oxydé et hydrate de fer.

Puissance : 0,90.

Minerai : galène tenant 22 et 83 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb; la galène la plus riche domine.

Lagardette. — Groupe de plusieurs filons répartis sur 200 mètres de largeur, en descendant le gave de Héas, traversant le gneiss, formés de galène, fer spathique et de veines ocreuses.

Direction : E. O.

La teneur de leur minerai varie de 27 à 33 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb. On y voit des veines massives de 0,20 d'épaisseur.

Cet ensemble de filons, comme les précédents, mérite bien de l'attention.

La plupart de ces gîtes peuvent être attaqués par des galeries d'écoulement profondes.

Enfin, c'est au-dessus de Gavernie que se trouvent les travaux anciens comblés, connus sous le nom de *Trou-des-Maures.*

Mine de Pierrefitte. — Il existe dans les vallées de *Cauterets*, d'*Azun* et d'*Argelès* plusieurs filons très-étendus, dont quelques-uns se développent sur plus de quatre kilomètres. Ces filons ont été fouillés pour la plupart anciennement et dans le siècle dernier, et quelques-uns de ces travaux ont acquis un grand développement. On avait construit pour leur traitement une fonderie à Pierrefitte.

On y connait les gisements suivants situés dans les schistes de transition.

Vallée de Cauterets, filon de Clèdes ou du pic de Soulom. — Inséré entre les couches schisteuses; reconnu sur plus de 2,000 mètres.

Direction : N. 55 O.

Puissance : 1,25.

Salbandes ferrugineuses.

Gangue : schistes quartzeux avec roche amphibolique tendre, imprégnés de cuivre carbonaté vert et bleu.

Minerai : pyrite de fer et de cuivre; carbonate de cuivre.

Filons de *Barbezan* et *Coutras*, au sud-ouest de Pierrefitte. — On y voit trois affleurements très-étendus, plombeux et blendeux sur lesquels ont été pratiqués anciennement des travaux considérables. Ce sont des filons couches dont la puissance varie de $1^m,30$ à 3 mètres et $3^m,70$. Le gîte de Coutras a présenté des épaisseurs de blende pure de 0,70 à 3 mètres.

Direction : N. 25 à 45 O.

Minerai : blende et galène. Celle-ci donne 57 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

A Barbezan, la galène à grains brillants donne 59 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Filon de Batz. — On retrouve des anciens travaux assez développés sur les nombreux filons couches de Batz. La blende y atteint 1 mètre de

puissance, et la galène en rognons a donné 80 gr. d'argent aux 100 kilos de plomb.

Filons de *Castillon*, *Ringadis*, l'*Espujos*. — Ce sont des filons couches qui paraissent être en relation avec ceux de Barbazan et de Batz. Ils sont très-étendus.

Le gisement de Castillon a été travaillé par tranchées dans le courant du siècle dernier. Il fournissait de la galène donnant 40 pour 100 de plomb et 85 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Le *filon de Ringadis*, d'une puissance de 1,50, paraît être la suite du précédent et semble s'étendre à Batz et au delà.

On y voit des veines de galène de 6 à 10 centimètres dans une gangue de blende.

L'Espujos.— Grands travaux anciens remplis de décombres. Ils se prolongent sur une étendue considérable.

Vallée d'*Argelès*, filons d'*Arribau* et *Beaucens*. — Nombreux filons de galène avec gangues de schistes siliceux, de fer magnétique ou de blende. Ils ont été travaillés anciennement sur beaucoup de points par tranchées ou galeries, mais suivant l'opinion exprimée par M. l'ingénieur Sévin, si rien n'y dénote l'existence d'un minerai utilement exploitable, il est permis de croire que les points de croisement des nombreux filons qui s'entrelacent dans cette contrée peuvent être les centres de concentrations métalliques d'une certaine valeur.

Le gisement d'*Arribau* est recoupé par trois filons verticaux que l'on voit au château de *Beaucens*.

Mines de *Palourma*. — Dans la vallée de *Gazost* on trouve plusieurs gisements de galène dans des schistes noirs très-durs insérés entre les couches schisteuses, et courant comme elles dans la direction à peu près E. O.

Le plus important d'entre eux est celui de *Palourma*, vertical, d'une puissance de 0,60 à 0,80, avec renflements et tenant de la blende, de la pyrite et de la galène. La gangue est formée de chaux spathique et quartz. Ce gisement a été très-exploité dans le courant du siècle dernier. Les travaux les plus importants, selon Dietrich, sont souterrains.

La galène donne 84 grammes d'argent aux 100 kilos de plomb.

Mines de l'*Arau*, près *Saint-Pé*. — Filons parallèles dans la direction E. O., sans filons croiseurs apparents.

Filon de *Bessac*. — Dans un calcaire fétide et bleuâtre, très-dur, reposant sur les schistes de transition. Veinules d'ocre et de galène.

Puissance : 0. 54.

La Moutère. — Travaux anciens éboulés. Galène en rognons.

Malis. — Traces de pyrites de cuivre et de pyrites de fer.

Gates. — Filon de pyrites de cuivre et de fer. Gangue de quartz et de chaux carbonatée. La pyrite de fer y domine.

Travail ancien au fond de *Gates*, sur un filon ocreux avec galène et pyrite de fer.

Les documents anciens et particulièrement ceux qui proviennent de Dietrich rappellent encore l'existence de nombreux gisements plombeux et cuivreux dans les Hautes-Pyrénées. On en trouvera l'indication dans l'énumération générale que nous avons donnée plus haut.

Manganèse. — On exploite aujourd'hui activement (1873), surtout depuis l'élévation des prix de vente, les minerais de manganèse dans les montagnes situées entre la vallée de Luchon et la vallée de Campan.

Leurs gisements consistent en amas subordonnés à une zone de schistes et calcaires dévoniens qui, passant au col de Peyresourde, recoupent les deux *Nestes* aux environs de la petite ville d'Arrau, et s'étendent au delà de Campan en suivant une direction à peu près parallèle à la direction générale des Pyrénées.

Ces amas se retrouvent ainsi échelonnés sur une très-grande étendue. On en exploite depuis longtemps à *Germ*, à *Vieille-Soulan*, etc., et vers 1847 la Société qui s'était formée dans la Haute-Garonne, pour l'exploitation de ses mines argentifères et plombeuses, trouva dans l'exploitation du manganèse de Germ et du Portet une source de bénéfices importants.

Les amas de manganèse sont quelquefois considérables; en 1873, nous nous rappelons avoir vu celui que l'on travaillait à Germ et qui, à ce moment, présentait une épaisseur de 19 mètres 40 de longueur et environ 30 mètres de hauteur, sans que rien, à la surface du sol, ne vînt donner une idée de pareilles dimensions.

Il paraît donc probable que des amas peut-être plus importants que ceux que l'on connaît puissent se trouver dans l'intérieur de la formation dévonienne, à des profondeurs assez grandes, dans le sens de ces lignes ou veines que l'on voit à la surface sous forme de crêtes parallèles suivant les ondulations du sol, et qu'on ait là, pour longtemps, une source importante de production de manganèse.

En résumé, nous voyons que le département des Hautes-Pyrénées renferme de nombreuses mines qui ont été anciennement travaillées avec beaucoup d'activité. La difficulté des transports et l'absence des combustibles sur place retarderont peut-être pour longtemps encore l'exploitation d'un certain nombre d'entre elles, mais il en est qui, pouvant être facilement attaquées par des galeries d'écoulement superposées, jusqu'à de grandes profondeurs, pourront être favorisées par le voisinage des chemins de fer et le perfectionnement des moyens de forage.

On y peut remarquer encore que les formations métallifères de galène de cuivre ou de manganèse y paraissent subordonnées, pour la plupart, aux terrains qui les encaissent. Elles en font, en quelque sorte, partie intégrante sur des étendues considérables, et témoignent de la puissance du métamorphisme qui a donné aux roches de ces contrées l'aspect que nous leur voyons.

Cette observation paraît utile au point de vue des mines et de leur développement, car elle indique que les concentrations métalliques peuvent exister à de grandes profondeurs et s'y présenter abondamment en un grand nombre de points.

Département des Basses-Pyrénées.

On rencontre dans ce département des mines nombreuses de fer et de minerais divers dont les noms nous ont été conservés par Dietrich. L'abbé Palassou en a également fait mention, et il a surtout parlé des mines que l'on trouve dans la vallée de la Nive et de celles qui furent ouvertes dans ces contrées dans le cours du siècle dernier.

ÉNUMÉRATION DES MINES, D'APRÈS DIETRICH, EN 1787.

Vallées.	Nature.	Gites.	Paroisses.	Montagnes.	Observations.
			BÉARN.		
Légates....	Cuivre......	Filon......	Saint-Pé....	La Moulère..	Recherches à faire. Peu d'espoir.
—	Id......	Masses.....	Saint - Paul d'Asson...	Listo et Loubie	Subordonnée à la mine de fer de Loubie.
Ossau......	Plomb, argent	»	»	Sourince....	Riche. — Très-élevée dans la région des neiges.
—	Cuivre.....	Filon......	Laruns.....	Gaoust......	Nouvellement découverte. Mérite des recherches.
—	Id......	Id.....	Id.....	Hourat......	Anciens travaux encombrés.
—	Plomb......	Id.....	Id.....	Anouillasse..	Nouvellement découverte. Susceptible d'exploitation.
—	Cuivre, argent.	Id.....	Id.....	Neusport....	Anciens travaux qui peuvent être repris. Quatre mois de neige.
—	Cuivre......	Indéterminée	Id.....	Col de la Trape	Anciens travaux. Sous les neiges.
—	Id......	Id.....	Id.....	Montagne de la Grave......	Id.
—	Plomb......	Filon......	Id.....	Turon d'Aran.	Anciens travaux; repris et abandonnés. Peu profitable.
—	Cuivre......	Id.....	Id.....	Césí, quartier de Hougues.	Mérite des recherches.
—	Zinc.......	Id.....	Id.....	Tume de Sous-soueix.....	»
—	Plomb, zinc..	Trois filons.	Id.....	St-Guinat de Béterete....	Susceptible d'être sondée.

Vallées.	Nature.	Gîtes.	Paroisses.	Montagnes.	Observations.
		BÉARN (*Suite*).			
Ossau......	Plomb, argent	Filon......	Laruns.....	La porte Malaniac.....	Susceptible d'exploitation. Deux pieds d'épaisseur. Veines de plomb et blende.
—	Plomb......	Id.....	Id.....	La Pine de Cési.......	Peu importante.
—	Cuivre......	Veines.....	Béost......	Houmateigh..	Id.
—	Id......	Id.....	Id.....	Quartier de Habout.....	Id.
—	Plomb, argent	Trois filons.	Soule et Aas.	Q. de Sourince	Anciennement exploitée. Susceptible de reprise.
—	Arsenic.....	Filon......	Id.....	Id......	Indiquée comme mine de cobalt.
—	Zinc.......	Id.....	Id.....	Lac de Deusons	Peut servir.
Aspe......	Cuivre......	Id.....	Acous......	Menchicot...	Anciens travaux qui méritent réflexion. Peu développés.
—	Id	Id.....	Id.....	Tapier......	Anciens travaux qu'on peut poursuivre.
—	Id......	Id.....	L'Escun....	Lazergues...	Susceptible d'exploitation. Sous la neige.
—	Id......	Id.....	Bedons et Sarrance.	Certignous...	Anciens travaux, à sonder de nouveau.
—	Id......	Id.....	Borsé......	L'Escouret...	Id.
—	Id......	Id.....	Id.....	D'Iriré......	Id.
—	Plomb......	Id.....	Id.....	Bellonca.....	Id.
—	Cuivre......	Id.....	Id.....	Ibosque.....	Id.
Baretous...	Plomb, argent	Id.....	Arête.....	Accos.......	Ancien travail, à reprendre.
—	Id......	Id.....	Id.....	Tosset, de la mine......	Id.
—	Cuivre......	Id.....	Issaux.....	Berete......	Id.

Dietrich cite encore la mine de cuivre de Bourreins, montagne d'Aidions, territoire de Bédons. Anciens travaux. Gangue composée d'une mine de fer brune. Au-dessous de ce filon, dit-il, on voit une autre mine de fer qui doit être une mine de cuivre.

Mine de cuivre de Causia, au sud du village d'Urdos, territoire de Lavesio. — Affleurements de plusieurs filons de cuivre jaune à gangue spathique, travaillés dans le siècle dernier. En 1786 on fondait les minerais dans la vallée d'Aspe (Dietrich).

Vallées.	Nature.	Gîtes.	Paroisses.	Montagnes.	Observations.
		SOULE, BASSE-NAVARRE ET LABOUR.			
Soule......	Alun et vitriol.	Couches....	»	»	Route de Salies à Mauléon. A exploiter.
—	Ocre.......	Id.....	»	»	Id.
—	Pyrite de fer.	Id.....	Libarins....	Rive droite du Gave de Mauléon.......	»
—	Cuivre......	Filons.....	Larau......	Atabarein....	Ancien travail, susceptible d'être continué.

Vallées.	Nature.	Gîtes.	Paroisses.	Montagnes.	Observations.
		SOULE, BASSE-NAVARRE ET LABOUR (*Suite*).			
Soule......	Cuivre......	Filon......	Larau.	De Pista....	Nouvellement découverte. Mérite des recherches.
B.-Navarre et Labour..	Id......	Id.	Alherei....	D'Etschevery-Lépou.	Mérite d'être recherché.
—	Cuivre, argent	Id.....	Baigorri....	Astobiscar. ..	Dans le cas d'être exploité.
—	Cuivre.	Id.	La Bastide..	Aritschoulégui	Vallée de la Nive. Mérite d'être poursuivie.
—	Cuivre et fer spathique...	Id.. ...	Échaux.....	Lischqueta...	Susceptible de plus grandes recherches.
—	Cuivre.	Id.	Baigorri....	Bourdalécou..	Nouvellement découverte. En recherche (1787).
—	Id......	Id.....	Saint-Étienne de Baigorri	Béléchy.	Mérite d'être suivie.
—	Cuivre et fer.	Deux filons.	Id.	Escourleguy..	Pourrait devenir un travail important.
—	Cuivre, argent	Filon......	Id.....	Fonderie des Trois Rois..	Doit être reprise dans les fonds.
—	Cuivre.	Id.	Id.	Fonderie de Berg-op-Zoom.	Doit être poursuivie.
—	Cuivre, argent	Id.....	Id.....	Saint-Louis. .	Mérite d'être suivie.
—	Id.	Id.....	Id.	Ste-Élisabeth.	Peu d'espoir.
—	Id......	Id.....	Id.....	De Philisbourg	Doivent être mieux sondés.
—	Id......	Id.	Id.	D'Aoust.	Susceptible de nouvelles recherches.
—	Id.	Id.....	Id.....	Ondarolles...	Mérite des recherches.
—	Cuivre......	Id.	Id.	Rive droite de la Nive.....	Travaux anciens, qui devraient être sondés.
—	Quartzeux et spathique...	Id.	»	Istourenstégui	Mérite des recherches.
—	Cuivre......	Id.....	Orbais.	Près d'Orbais.	Id.
—	Cuivre et zinc.	Id.	St-Jean-Pied-de-Port...	Jara.	Peut être exploité avec avantage. Pas de filons réglés.
—	Cuivre......	Id.....	Id.....	Arradoye....	Id.
—	Cuivre et fer.	Id.	Id.	Mounhoa. ...	Susceptible d'être mieux recherchée.

Dietrich ajoute qu'il aurait pu signaler encore un grand nombre de filons que la Compagnie de Baigorry a tentés, mais les recherches ayant été infructueuses, il n'a pas cru devoir les indiquer ici.

Concessions dans le département.

Mines de *Baigorry*, cuivre et argent. Concession d'Ustelleguy et Occos, 1825, sur 11600 hectares.

Mines d'*Aspech*, cuivre, vallée d'Ossau. Concédée en 1868, sur 114h,21.

Mines d'*Arre*, plomb, argent, nickel. Id. 1861, sur 780 hectares.

Les anciens travaux, dont on rencontre fréquemment les traces, se rapportent sans doute à plusieurs époques. Quelques-uns d'entre eux,

tels que ceux de Baigorry, dans lesquels on découvrit des médailles d'Octave, de Lépide et d'Antoine, remontent à l'époque romaine; d'autres doivent dater du moyen âge, au temps des rois de Navarre, et, enfin, un grand nombre d'entre eux nous montrent les vestiges de mines ouvertes dans le cours du siècle dernier.

Des concessions furent données à cette époque, et parmi elles il en est une dont nous devons particulièrement parler.

Cette concession est celle qui fut accordée à Jean Galabin, sieur du Joncquier, qui constitua une compagnie sous le nom de *Société royale*, dont nous avons déjà signalé le caractère et dont nous avons vu les travaux dans le département des Pyrénées-Orientales.

Historique. — Cette Société, créée en 1722, attaqua plusieurs gisements cuivreux dans la vallée d'*Aspe* et, entre autres, ceux des montagnes d'*Iriré*, de *Bellons*, de *Bourreins* et des *Mackicots*.

Vers 1729, elle fit élever une fonderie, des laminoirs, des magasins, etc., à *Bedons* et à *Saint-Pé*.

1738. Les nombreuses dépenses d'installation qu'on avait faites, là comme auprès de la Preste, dans le Roussillon, conduisirent forcément à l'insuccès de l'exploitation. Les créanciers s'en émurent et leur syndic fut chargé de continuer les travaux.

Il dépensa[1] 40,000 livres en dix-huit mois, en fêtes et en plaisirs, ne consacra qu'une faible partie de cette somme aux travaux et abandonna les mines en 1739.

A ce moment, tout fut perdu ou brûlé, et, au nombre des établissements qui eurent ainsi à souffrir, se trouvait aussi la fonderie de *Saint-Pé*.

La Société royale n'eut pas même le temps de s'organiser et elle dut succomber après s'être constituée avec éclat.

Mines de Baigorry. — *Historique.* — Dans le temps même où la Société royale exécutait ses travaux dans la vallée d'Aspe, on pensa à attaquer les mines de Baigorry, dans la vallée de la Nive, où l'on voyait les traces de nombreux travaux anciens dans les montagne d'*Ainhoa*, d'*Astroescoria*, etc.

1729-1745. On y exécute de nombreux travaux disséminés et indécis et, à cette dernière date, on était déterminé à faire un nouvel effort quand on rencontra la masse des anciens ouvrages dont on ignorait l'étendue.

Ces travaux remontaient à l'époque romaine, ainsi que le prouvaient les médailles que l'on y trouva au milieu des décombres.

1756. Après vingt ans de tâtonnements et d'efforts, ces mines furent

1. Anciens minéralogistes.

reprises avec activité par un nouvel exploitant, et, d'après les anciens minéralogistes qui mettent en relief son savoir-faire et son activité, ces efforts nouveaux furent couronnés de succès.

1760. La production qui, en 1747, ne comptait que 632 quintaux de cuivre (environ 30 tonnes), s'éleva progressivement jusqu'à 2,500 (120 tonnes), représentant pour l'époque une valeur importante.

Dans cette dernière période, on avait relevé des travaux anciens nombreux, on avait établi des machines hydrauliques pour l'épuisement, on avait découvert et mis à nu d'importants filons et de riches minerais de cuivres argentifères, et on fondait les minerais dans une fonderie établie sur les bords de la Nive.

Les cuivres obtenus étaient transportés à Sainbel (Rhône) pour l'extraction de l'argent.

Après avoir été travaillées par le dernier concessionnaire pendant vingt-neuf ans et cinq ans par ses successeurs, ces mines paraissent avoir traversé une période moins active; elles étaient en partie délaissées quand, en 1787, Dietrich en fit la visite; néanmoins on y travailla jusqu'au moment de la Révolution.

1823. On tenta de les reprendre à cette époque, mais les travaux, quoique dirigés par Charpentier qui éclaira la géologie des Pyrénées, furent bientôt abandonnés.

1873. Aujourd'hui, ces mines sont reprises depuis quelques années. Elles sont encore dans la période d'installation et elles ne fournissent que 8 à 10 tonnes de minerai par mois; mais le minerai qu'elles extraient, composé particulièrement de cuivre gris argentifère et de pyrite cuivreuse, renferme 300 à 800 grammes d'argent aux 100 kilos, ce qui lui donne une grande valeur.

Si, maintenant, nous réfléchissons sur les diverses phases de ces exploitations dans le cours des temps, en rapprochant déjà par la pensée les observations de Dietrich dont nous indiquerons la partie essentielle, il est facile de voir :

Que les Romains exploitèrent ces filons en un grand nombre de points, près de la surface du sol et tant qu'ils ne furent pas gênés par les eaux souterraines;

Que ces travaux, abandonnés par eux, soit à cause de leur profondeur au-dessous du niveau de la Nive, soit par suite des événements qui les repoussaient de la Gaule, repris au moyen âge, présentèrent à cette époque des difficultés d'épuisement.

Il est permis d'en juger ainsi, puisque Bernard Palissy, dans son *Traité de théorique et pratique* (1580), nous rappelle que le roi de Navarre Antoine, faisant exploiter des mines argentifères dans ce pays, dut les abandonner à cause de l'affluence des eaux.

Les mêmes obstacles, ajoutés encore à ceux que présentaient des amas de décombres abandonnés depuis des siècles, durent être rencontrés

pendant le dix-huitième siècle, alors que l'on ne possédait réellement que des moyens d'action peu puissants, et nous voyons, en effet, que ces mines ne donnèrent lieu à une production que lorsque le principal concessionnaire y eut fait installer des machines hydrauliques, parmi lesquelles on voyait des roues de 30 et 32 pieds, animées par les eaux de la Nive.

Ces travaux, s'approfondissant encore, donnèrent sans doute lieu de ressentir bientôt l'imperfection de ces nouveaux moyens : comme dans les Vosges, l'extraction et la plupart des épuisements s'y faisaient à bras d'hommes; et cela nous explique vraisemblablement leur ralentissement avant la fin du siècle dernier.

Ces observations sont pleinement confirmées par les détails fournis par Dietrich.

Quant à l'abandon vers 1823, on ne peut guère le considérer, je pense, que comme une sorte de défaillance de la part des exploitants qui, en présence de travaux noyés ou remplis de décombres, ont reculé devant la nécessité d'y appliquer les forces qu'exigeait une pareille situation.

Filons de Baigorri. — Près de Baigorri et sur les deux rives de la Nive, des travaux nombreux ont été exécutés sur un grand nombre de filons qui se croisent, se coupent et s'entrelacent, dans des directions diverses, au milieu des schistes et quartzites de transition appartenant au terrain silurien ou dévonien inférieur.

Ceux de ces travaux qui se rapportent au siècle dernier sont, en quelque sorte, groupés autour du point où se trouvait la fonderie.

D'après le plan ancien de M. de la Chabeaussière, directeur des mines, plan qu'on retrouve dans l'ouvrage de Dietrich, on voit les indications des mines suivantes :

Sur la rive gauche de la Nive :

Mine de *Philisbourg;*
— de *Saint-Louis;*
— de *Saint-Antoine;*
— des *Trois-Rois* et *Berg-op-Zoom;*
— des *Rois.*

Sur la rive droite de la Nive :

Mine de *Saint-Michel;*
— de *Sainte-Marthe;*
— d'*Aoust;*
— de *Sainte-Elisabeth.*

Elles sont ouvertes sur plus de 20 filons, et sur de nombreuses ramifications, dont quelques-uns sont désignés sous les noms précédents.

Lorsque l'on envisage, d'une manière générale, le plan d'ensemble des

travaux, on reconnait que ceux qui ont eu le plus de développement dans le sens de la profondeur, sont ouverts sur des points de réunion de plusieurs filons.

Ainsi, les travaux anciens et modernes les plus profonds, sur le filon des Trois-Rois, se montrent à un endroit où se croisent plusieurs filons, et ceux de Sainte-Élisabeth se développent à la rencontre de trois filons courant sur les h. 8, 10 et 4.

Principaux filons :

Les *Trois-Rois* et *Sainte-Marthe.*

Ce filon paraît s'étendre des deux côtés de la Nive.

Il a été poursuivi, sur la rive gauche, sur 360 mètres, et 270 sur la rive droite.

Il est accompagné d'une multitude de ramifications, ou, suivant l'expression de Dietrich, de veines partantes.

Direction principale sur la rive gauche : h. 9, soit N. O.-S. E.

Inclinaison : 76° au N. N. E.

Direction sur la rive droite : h. 8 1/8.

Inclinaison : au sud.

Ces différences de direction et d'inclinaison n'ont pas empêché de faire considérer ces deux branches comme appartenant à un même filon.

Ce filon a toujours fourni du minerai; on le travaillait encore en 1787, mais à cette époque les fonds en étaient inondés.

C'est dans son développement qu'on trouva un massif de minerai qui s'est soutenu sur une longueur de 100 mètres et depuis la profondeur de 60 jusqu'à 100. On retrouva encore de beau minerai de la profondeur de 100 mètres à 160, point le plus bas des travaux. « Le filon y était constamment puissant; il n'a pas cessé de donner de bonnes mines de bocard, et on assure (1787) qu'au sol des travaux il subsistait encore dans le même état et qu'il a plus de 2 pieds d'épaisseur. »

C'est cette colonne de minerai qui servit à refaire la fortune des concessionnaires de 1760.

Filon de *Berg-op-Zoom.* — Développé sur une étendue considérable.

Direction : 3 h. 3/8, environ N. E.-S. O.

Inclinaison : au N. E.

Puissance : variable. Elle est moyennement de $0^{m},75$.

Ce filon est régulier dans son allure, quoique présentant de fréquentes inflexions brusques de 2 mètres d'amplitude.

Minerai : Il consiste en mine de pyrite cuivreuse jaune et en cuivre gris antimonial argentifère. Ce dernier paraît, d'après les observations de Dietrich, se trouver spécialement dans la gangue de quartz et être remplacé par de la pyrite jaune lorsque cette gangue devient du fer spa-

thique. On le rencontre à peu près partout, en plus ou moins grande abondance, et il semble former des amas importants limités dans le sens de la largeur, mais étendus en profondeur, en quelque sorte des lentilles ; c'est ce que l'on peut déduire des paroles suivantes de Dietrich : « Le minerai s'est constamment et abondamment soutenu depuis le sommet de la montagne jusqu'à 40 toises (80 mètres). » Les travaux, noyés à cette époque, ne permettaient pas de voir au-dessous de ce niveau ; mais il y a tout lieu de penser que le minerai ne cesse pas d'y exister.

Au milieu des travaux anciens, qui y ont été importants, et dans les parties qu'ils avaient laissées, on trouvait des épaisseurs donnant 8 pouces de mine jaune massive.

Ce filon a particulièrement été travaillé à son point de croisement avec les filons des *Rois*, des *Trois-Rois*, *Sainte-Marie*, *Saint-Antoine*, et cette jonction semble avoir donné lieu à d'importantes concentrations métalliques.

Sur le filon de Berg-op-Zoom se trouvent aujourd'hui (1873) concentrés les travaux qui, ainsi que nous l'avons dit plus haut, sont encore dans leur période d'installation.

Le cuivre gris, minerai principal qu'on en extrait, analysé par M. l'ingénieur Genreau qui s'occupe actuellement de l'étude géologique du département, a donné :

Minerai compacte : Cuivre, 31 pour 100;
— Argent, 1^k,055 aux 100 kilos;
— Antimoine, non dosé.

Pour les minerais marchands, la teneur argent varie de 800 à 890 grammes aux 100 kilos de minerai.

Nous n'entrerons pas dans plus de détails sur les travaux du dix-huitième siècle dans la concession de Baigorry, détails qu'on retrouvera dans l'ouvrage de Dietrich ; mais nous ne quitterons pas ces lieux sans ajouter qu'il y a beaucoup d'indices de vieux ouvrages qu'on n'a jamais repris dans les temps modernes.

Tels sont, par exemple, ceux que l'on rencontre dans la montagne d'Aetscoria où des affaissements, dans la direction de Berg-op-Zoom, permettent d'y croire au prolongement de ce filon.

Des observations faites par tous les mineurs du dix-huitième siècle il résultait que l'un des moyens de perpétuer l'exploitation de Baigorry devait consister dans la reprise des fonds que l'impuissance des moyens d'épuisement avait laissé noyer ; on pensait qu'il fallait installer de nouvelles machines et que la profondeur de 160 mètres, la plus grande à laquelle on était parvenu, n'était pas assez considérable pour craindre de ne pas rencontrer au-dessous un minerai abondant, surtout sur le filon des Trois-Rois et à la rencontre du filon de Berg-op-Zoom et de

plusieurs autres ; que cette dernière mine, desséchée et remise en valeur par l'établissement d'une machine, faciliterait l'exploitation des autres filons importants qui se trouvent à sa proximité, particulièrement celle du filon Saint-Antoine.

Enfin, comme l'existence de minerais riches dans les filons de Baigorry n'est pas douteuse; comme il n'est pas moins douteux que l'on en a retiré des bénéfices importants dans le dix-huitième siècle, et que ces mines n'ont été arrêtées que par la faiblesse des moyens pour vaincre les obstacles qu'accroissait l'augmentation de la profondeur, on peut croire que les perfectionnements acquis dans la construction des machines, et particulièrement l'emploi des substances explosives nouvelles, permettront, mieux aujourd'hui que jamais, l'exploitation utile et avantageuse des minerais de ces contrées.

Dans toute cette partie des Basses-Pyrénées, on rencontre de nombreux filons de fer spathique, comme aux mines d'*Aritchoulégui*, d'*Usteley* territoire de la Bastide, de *Lischqueta* au-dessous des bois d'*Échaux*, d'*Escourbiguy* et d'*Istoustiguy*, dans le territoire de Baigorry, qui toutes renferment des pyrites de cuivre en plus ou moins grande abondance. Lorsqu'il sera possible de les mettre en exploitation, on pourra, par un triage soigné, en extraire le minerai de cuivre dont le produit viendra s'ajouter à celui de la mine de fer.

Cette observation est d'autant plus vraie qu'aux environs d'*Ainhoa*, par exemple, on rencontre des gîtes cuivreux où le fer domine, remarquables par leur allure.

L'un d'eux (mine de fer d'Ainhoa), délaissé depuis longues années, a été repris en 1873. Ce filon, de 1 mètre à $1^m,50$ de puissance, est composé de fer carbonaté avec épontes au mur et au toit, d'hématite brune de 0,50 environ. Il renferme des mouches nombreuses de pyrite de cuivre. On peut juger qu'il a été exploité anciennement pour cuivre, parce que les anciens travaux sont entièrement remblayés par des blocs de fer spathique[1].

On y voit encore des filons de fer spathique très-cuprifères encaissés, comme le précédent, dans les schistes et les quartzites dévoniens, bien réglés, d'une puissance de plus de 1 mètre, sur lesquels on remarque les traces d'anciens travaux.

Le minerai consiste en pyrite de cuivre jaune, panaché, gris, en grains ou cristaux, dans du quartz ou du fer spathique. Il forme quelquefois des veinules au travers de ce dernier.

La gangue est un quartz blanc hyalin qui, dans certains cas, forme des bandes avec le fer spathique. On y rencontre accidentellement la baryte sulfatée[2].

1. Lettre inédite de M. l'ingénieur Genreau.
2. *Revue de géologie* de Delesse et Lapparent, 1873.

Mine d'Aspeich. — Vallée d'Ossau, commune de Bielle. On y travaille des filons de minerai de cuivre pyriteux compacte, très-pur, d'une puissance de 0,05 à 0,12, encaissés dans une roche calcaire ferrugineuse que M. Genreau croit appartenir ou au devonien supérieur, ou au calcaire carbonifère.

Concession d'Arre. — Elle est située dans les hautes montagnes de la vallée d'Ossau, sur la rive droite du Souzouey, commune de Laruns.

Elle possède des filons de galène, de blende et d'argent. On y a également reconnu la présence du nickel.

Ces filons, généralement peu puissants, enclavés dans les calcaires de transition, ont presque tous, à diverses époques, été l'objet de travaux plus ou moins superficiels.

Quelques-uns, de galène, d'une épaisseur de 0,20 à 0,60, donnent du plomb tenant de 100 à 120 grammes d'argent aux 100 kilos.

Plusieurs filons de blende, irréguliers d'ailleurs dans leur allure, ont en quelques points une puissance de plus de 1 mètre.

Tous, en général, courent dans les directions E. O. et N. E.-S. O.

Les gisements qui ont été particulièrement l'objet de la concession sont des filons de pyrite arsénicale ou mispikel, tenant le nickel et souvent l'argent.

Filon Saint-Pierre. — C'est le principal des filons de cette nature que l'on y connaisse, et celui sur lequel ont été faits les premiers travaux.

Ses affleurements peuvent être suivis sur 2 ou 300 mètres, et ils sont signalés par une crête ferrugineuse qui s'est montrée, en un point, accompagnée de terres rouges au mur, de terres noires au toit, un peu argentifères.

Gangue : calcaire spathique lamelleux.

Puissance : faible, très-variable, variant de 0,01 à 0,05 et 0,60.

Minerais : argent natif, kupfernickel, blende, galène, mispikel, pyrite de fer.

Ils sont d'autant plus riches en argent qu'ils renferment moins d'autres substances métalliques.

Les minerais argentifères ont donné à MM. les ingénieurs des mines Garella, Debette, Flajolot, pour quelques échantillons :

Calcaire spathique avec argent natif disséminé, $5^k,20$ pour 100;
Même minerai lavé, 5 kilos pour 100;
Calcaire spathique avec une forte proportion de kupfernickel, 360 grammes;
Calcaire spathique avec peu de kupfernickel, $1^k,440$;
Mispikel en masse, 360 grammes;
Blende mélangée au kupfernickel, 380 grammes.

Les minerais rendent une forte proportion de nickel métallique.

Enfin, MM. Garella et Debette estimaient que le produit de 1 mètre carré du filon Saint-Pierre pourrait produire 500 grammes d'argent et 2 kilos de nickel.

Malheureusement, ces divers gisements se trouvent dans une région très-accidentée et recouverte par la neige pendant une partie de l'année.

On y a exécuté quelques travaux dans ces dernières années et installé un bocard; mais ils ont été bientôt abandonnés et sont depuis longtemps suspendus.

Mine d'*Isturitz*. — Nous rappelons cette mine parce qu'Hellot, dans la Note qu'il a donnée des mines de France, la présente comme une mine d'or présentant d'immenses travaux romains, s'étendant à plus de 1,200 pieds de profondeur, et où l'on voyait trois grosses tours et d'anciens retranchements pouvant contenir 6,000 hommes.

Ces mines sont également citées par Hautin de Villars en 1742, et désignées par Alonso Barba, plus anciennement encore, comme mine *calchale*, probablement calcaire, et riche en or et argent.

On ne sait réellement rien aujourd'hui relativement à l'existence de ces mines, mais on n'ignore pas qu'il existe en effet, dans cet endroit, des grottes très-profondes.

D'après M. l'ingénieur Genreau, la structure géologique de toute la région qui les entoure paraît n'offrir qu'un bien faible intérêt au point de vue des substances métalliques. Il serait néanmoins intéressant de résoudre cette question et de savoir à quoi s'en tenir au sujet de ces renseignements anciens.

VI

Mines de Fer.

Les minerais de fer sont très-répandus en France; on les trouve en plus ou moins grande abondance, avec des qualités diverses, sur une multitude de points du territoire. Des scories anciennes, amoncelées dans les vallées ou disséminées à la surface du sol, dans les plaines cultivées ou au sein des forêts, accusent l'existence de travaux prolongés, pratiqués à diverses époques, depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours, qui, souvent, n'ont laissé ni souvenirs ni tradition.

L'histoire développée de ces travaux et la description des gisements offriraient sans doute un très-grand intérêt; mais l'une et l'autre exigeraient un grand nombre de détails qui pourraient remplir un volume, et leur énumération dépasserait les limites que nous nous sommes imposées.

Nous nous bornerons donc, ainsi que nous l'avons dit dans l'introduction, à des considérations générales; mais nous essayerons d'en dire assez pour donner une idée du mouvement de l'industrie sidérurgique dans les siècles passés et dans le siècle actuel, et pour faire connaître les principaux gisements des diverses parties de la France.

Vers la fin de leur indépendance, les Gaulois fabriquaient le fer qui servait particulièrement à la confection des armes, et, quand César pénétra dans les Gaules, le cuivre et le bronze qui, dans les temps antérieurs, avaient remplacé les ustensiles, armes et outils de pierre, étaient encore les métaux le plus généralement employés, même à Rome, pour les usages domestiques.

Des perfectionnements successifs introduits dans la fabrication ont généralisé l'emploi du fer, et c'est ainsi que, peu à peu et surtout depuis

l'application de la vapeur, et depuis la création des voies ferrées, ce métal est devenu l'un des éléments essentiels de la civilisation actuelle, nécessaire dans tous les usages de la vie, et utilisé, comme on ne l'avait jamais fait, pour les besoins de la navigation et de la guerre.

Si nous cherchons à nous rendre rapidement compte de la succession de ces perfectionnements, nous arriverons à comprendre comment l'usage du fer s'est si puissamment répandu parmi nous, et comment il a fallu tant de siècles pour parvenir au point où nous en sommes.

Au temps des Gaulois, une production très-restreinte suffisait à la population guerrière; les routes faisaient généralement défaut, et l'industrie du fer disséminée dans les forêts, particulièrement cultivée par les Bituriges dans le Berry, par les Centrons dans les Alpes, par les Tectosages dans les Pyrénées, par les Gaulois de la Bretagne ou ceux du Jura, n'existait qu'à l'état rudimentaire.

Un creuset, soufflé à bras d'hommes, suffisait au traitement direct des minerais, et cet appareil primitif constituait une forge que l'on transportait sur divers points du gisement quand on en avait épuisé les parties les plus voisines et les plus superficielles.

Cet usage primitif s'est perpétué longtemps à côté même des progrès qui se réalisaient ailleurs, et c'est ce qui explique comment aujourd'hui, dans une foule d'endroits, on peut rencontrer des amas de scories de diverses époques, souvent en faible quantité, disséminés sur de grandes étendues à la surface d'une même contrée et dans des lieux où on trouve encore des vestiges de ces bas fourneaux, mais où on ne voit aucune trace d'établissement fixe et ni même un cours d'eau.

Peu à peu et avec le temps, les creusets s'agrandirent en changeant de forme; de circulaires qu'ils étaient d'abord, ils devinrent elliptiques, puis à quatre pans dont deux arrondis, puis enfin quadrangulaires, tels que nous les voyons de nos jours aux forges catalanes des Pyrénées.

En même temps que ces changements s'opéraient, les forges se fixaient au sol; elles s'établirent sur les torrents; les souffleries cessèrent d'être animées par des hommes ou par des animaux, et l'eau fut employée comme force motrice ou comme agent de ventilation.

Les travaux de mine s'approfondirent et se développèrent, surtout après le huitième siècle, quand les bas fourneaux anciens furent exhaussés.

C'est dans l'Erzegebirge, berceau de la sidérurgie en Allemagne, que se fit ce premier progrès, cette première amélioration notable qui, se répandant en France, dans les Vosges et en Bourgogne, contribua déjà à généraliser davantage la fabrication du fer.

Au XIIe siècle, particulièrement remarquable par le travail des mines en général dans toute l'Europe, cette fabrication avait acquis déjà une grande supériorité; mais, presque partout, si l'on s'en rapporte au dire

de divers auteurs, la fonte n'était considérée que comme un produit nuisible; on ne faisait que le fer et l'acier naturel.

Cependant on peut croire que, dans les Ardennes, on coulait déjà, à cette époque, des fontes moulées aussi parfaites que celles de nos jours, et on peut en avoir la preuve dans ce pays même où il n'est pas rare de voir des plaques de foyer portant des sujets bibliques et la date de 1140.

Il est donc probable que, si dans la plus grande partie de l'étendue du territoire on ne possédait que des forges et des *épéeries*, il existait déjà à cette époque, dans le nord-est, des fourneaux uniquement destinés à fournir la fonte.

Quoi qu'il en soit, on admet généralement, et probablement à tort, que le haut fourneau proprement dit, particulièrement édifié en vue de ne produire que de la fonte, ne fut construit que dans le courant du XVI[e] siècle.

La province de Liége revendique l'honneur de sa découverte.

Ce nouveau progrès signala le commencement d'une ère nouvelle pour la fabrication du fer, la fin de ce que M. Fournet appelait l'âge de la scorie, le commencement de l'âge du laitier.

Il est probable que ce nouveau fourneau ne servait au début qu'à la production des fontes de moulage. On conserva pendant longtemps encore les bas foyers pour le traitement direct des minerais de fer; mais il fut le point de départ des transformations qui s'opérèrent dans la fabrication et conduisit aux méthodes nouvelles d'affinage de la fonte, connues sous les noms de méthodes *Bergamasque*, *Wallonne*, *Comtoise*, du *Berri* et du *Nivernais*, appliquées jusque dans le courant du siècle actuel, et qui tendent de plus en plus à disparaître pour être remplacées par la méthode anglaise.

Depuis cette époque, jusqu'au milieu du XVIII[e] siècle, les progrès de la fabrication, signalés par l'application des méthodes que nous venons d'indiquer, restèrent à peu près stationnaires; mais, à ce moment, on se préoccupa particulièrement de l'emploi de la houille carbonisée dans les hauts fourneaux qu'on alimentait exclusivement avec le charbon de bois ou celui de la houille pour l'affinage de la fonte.

Les premiers essais dans ce genre furent faits en Angleterre; c'est en 1729 qu'on commença à appliquer le combustible minéral.

C'est en 1760 qu'on commença à y employer le coke et que l'on se servit en même temps des cylindres soufflants de Smeaton, qui permirent de modifier les dimensions des hauts fourneaux et d'en accroître le rendement.

De nombreux essais urent aussi tentés en France dans le même sens et vers la même époque; mais ce n'est qu'en 1782 que l'on put voir, dans le centre du pays, au Creusot, un haut fourneau exclusivement ali menté par la houille carbonisée.

En 1788, presque tous les hauts fourneaux de l'Angleterre employaient

le charbon minéral, et il fallut encore en France près de cinquante ans et des circonstances nouvelles imposant le progrès pour qu'on pût y voir généralisé l'emploi des mêmes méthodes.

En 1785, Cort et Parnell, encore en Angleterre, rendirent pratique et industrielle la méthode d'affinage par la houille, dite méthode anglaise. Appliquée d'abord en Champagne, elle y reçut le nom de *méthode champenoise*, et elle tenait en quelque sorte une place intermédiaire entre la méthode anglaise et les méthodes anciennes.

Ces importantes découvertes, coïncidant pour ainsi dire avec les améliorations que des hommes de génie apportaient dans la construction des machines à vapeur, furent l'origine d'une transformation complète dans la fabrication du fer. Dès ce moment, les progrès de cette fabrication prirent un élan prodigieux, dont on n'avait jamais eu l'idée dans les siècles antérieurs, et ils ne pouvaient plus être arrêtés par l'emploi du combustible qui, tant qu'il venait des forêts, devait maintenir la production dans d'étroites limites.

Les hauts fourneaux qui, jusqu'alors, n'avaient pas eu plus de 6 à 7 mètres de hauteur, furent exhaussés de plus en plus: leurs formes intérieures furent avantageusement modifiées, des machines à vapeur puissantes animèrent des souffleries perfectionnées.

En 1828, Beaumont et Nelson se servent de l'air chaud, et, à peu près vers la même époque, des ingénieurs français, Thomas et Laurens, utilisèrent les gaz perdus des hauts fourneaux.

Les anciens et lourds marteaux à cames et les martinets furent remplacés par les laminoirs et par les marteaux-pilons; l'outillage se perfectionna constamment, tendant toujours à réduire les prix de fabrication tandis que s'élevaient ceux de la main-d'œuvre et de toutes choses, et enfin l'application de toutes ces méthodes nouvelles généralisa tout à la fois, et dans des proportions considérables, l'emploi du fer et de la houille.

Les chemins de fer, l'application du fer au lieu du bois dans la navigation, le développement toujours croissant des machines à vapeur, l'abandon toujours de plus en plus prononcé de la navigation à voile ainsi que l'augmentation prodigieuse de la consommation en fer et acier dans le monde entier, furent la conséquence de ces perfectionnements. De plus, en même temps que les moyens de transport rapides dont ils avaient favorisé l'exécution ouvraient de vastes débouchés pour l'industrie sidérurgique, ils faisaient naître partout de nouveaux besoins et stimulaient au plus haut degré le commerce et l'industrie qui, sous toutes les formes, acquirent un développement qu'on ne leur avait jamais connu.

Cependant ces progrès, réalisés vers la fin du siècle dernier ou au commencement du siècle actuel, ne se manifestèrent en France que quelques années plus tard.

C'est seulement en 1818, et même seulement de 1822 à 1827, pendant

l'effervescence industrielle de cette époque, due au retour de la paix, après tant d'années de guerre et de troubles, après la promulgation de la loi douanière et protectrice de 1822, que l'on y appliqua la méthode d'affinage par la houille, et que l'on construisit les premières forges importantes.

C'est en 1832 qu'on y fit pour la première fois l'application de l'air chaud, dans un haut fourneau de Vienne, et c'est de 1822 à 1849 que se fondèrent les premiers grands établissements sidérurgiques, comme ceux du Gard et de l'Aveyron, de Decazeville, d'Alais, de Bességes, de l'Est et du Nord.

C'est particulièrement depuis cette époque, qui coïncide avec le développement des chemins de fer, que se sont réalisés les grands progrès en France. Ces progrès étaient d'ailleurs stimulés par la fabrication anglaise qui, produisant à des prix inférieurs, appelait forcément des modifications dans un grand nombre d'usines qui n'avaient été placées et n'avaient pu vivre qu'à l'abri des droits protecteurs.

En 1835, la plupart des usines étaient alimentées par le charbon de bois, et on voyait encore un grand nombre de forges d'après les méthodes anciennes, mais peu à peu à dater de cette époque, et surtout à partir de 1860, ces méthodes ont été en grande partie abandonnées; les hauts fourneaux au bois tendent à disparaître et à n'être conservés que pour des qualités spéciales de fontes; les petites usines, si nombreuses alors, tendent à s'éteindre et à être remplacées par de grands établissements fondés au voisinage des houillères, et grâce aux moyens de transport perfectionnés, ces établissements peuvent être alimentés aujourd'hui, non-seulement par des minerais indigènes, mais encore par des minerais éloignés et même étrangers provenant de l'Afrique, de l'Espagne ou de l'Italie.

En face de la concurrence, comme sous l'influence des nécessités nouvelles, tous les efforts ont tendu, comme ils tendent constamment, à réduire autant que possible les prix de revient et à améliorer les qualités des fontes au coke; enfin l'acier qui, jadis, n'était produit que par un petit nombre d'usines et n'entrait dans la consommation que pour des quantités relativement faibles, est aujourd'hui si abondamment produit à l'aide des transformations apportées dans la fabrication par des procédés nouveaux, et notamment par le procédé Bessemer et Siemens-Martin, qu'on est en droit d'espérer de le voir entrer plus amplement dans les usages de la vie, et remplacer souvent le fer et la tôle.

Si maintenant nous considérons l'industrie du fer dans son ensemble général et dans ses rapports avec l'histoire, nous la voyons naître en quelque sorte sous les auspices de la guerre, puisqu'elle ne sert, à son début, que pour la fabrication des armes. Elle se développe lentement et peu à peu, et rencontre de nombreux obstacles dans l'imperfection des moyens et des voies de communication, comme dans l'existence de

droits nombreux et variables que ses produits devaient supporter, malgré la protection que les souverains lui ont successivement accordée.

La création du haut fourneau fit naître sur le territoire un grand nombre de fabriques de canons, de boulets et de bombes qui s'ajoutèrent aux fabriques d'épées ou *épéeries* existantes antérieurement et dont chaque guerre venait ranimer l'activité. Après 1789, cette industrie entrait dans une ère nouvelle; elle prit un élan considérable et fit, bientôt après, de prodigieux efforts pour répondre aux nécessités du moment, quand la France était attaquée par l'Europe coalisée; elle produisit alors en quelques mois plus de fer et d'acier qu'il n'en avait été produit depuis le règne des Valois[1]. Momentanément arrêtée par la révolution, elle entra hardiment dans la voie du progrès au retour de la paix, mais elle ressentit vivement les effets des événements politiques, des variations des prix ou des droits imposés aux matières étrangères et elle dut traverser des temps de crise et de luttes laborieuses difficiles à passer. Ainsi, après le temps d'arrêt provoqué dans l'industrie par la révolution de 1830[2], « les chemins de fer de Saint-Etienne à Lyon, de la Grande-Combe à Beaucaire, l'établissement des paquebots-poste sont les précurseurs d'une activité nouvelle. Les chemins de fer s'étendent progressivement, les usines se multiplient et s'agrandissent. Aux centres de fabrication déjà créés dans Saône-et-Loire, l'Aveyron, la Loire, viennent s'ajouter les vastes établissements de l'Allier, de Bessège, de la Moselle, du Nord et de la France-Comté. Les ateliers pour la fabrication du matériel des chemins de fer, des locomotives et de machines de toute espèce se fondent partout. Ils tendent à compléter l'outillage de la France en le mettant au niveau de ce qui s'est fait en Angleterre, pays précurseur qui marche plus vite que nous.

« 1848 arrête ce mouvement, et il fallut cinq ans pour que l'industrie se remît de cette grande commotion. En 1853, le mouvement ascensionnel était repris. Ce mouvement, de 1855 à 1856, semble vertigineux, et il indique un développement sans précédent de toutes les affaires et de toutes les entreprises. »

Après 1860 on entre dans un régime nouveau qui introduit incomplétement en France la liberté commerciale. Les droits anciens sur les produits étrangers sont abaissés, et ces circonstances nouvelles, généralisant la concurrence et produisant une baisse croissante des prix, exigent de nouveaux efforts et déterminent, en quelque sorte, le déplacement de l'industrie Les grandes usines se développent davantage, tandis que les petites s'éteignent pour la plupart.

Après les événements de 1870, l'application croissante des nouvelles méthodes pour la fabrication de l'acier, qui paraissent devoir opérer

1. *Statistique de l'industrie*. 1846.
2. *Les Houillères en* 1868. Burat.

une transformation complète dans la fabrication générale, ainsi que la hausse des prix, occasionnent un mouvement considérable destiné à persister ou à se ralentir suivant les inflexions de ces prix dans l'avenir, et montrent en même temps toute la vitalité et l'énergie de l'industrie française.

Enfin, il a fallu plus de dix-sept siècles de travail et d'élaboration continue pour parvenir aux transformations qu'ont apportées l'application de la vapeur et l'intervention de la houille, pour que l'industrie du fer cessât, en quelque sorte, de servir spécialement aux usages de la guerre, pour qu'elle pût lutter, comme elle le fait aujourd'hui, contre toute concurrence et coopérer puissamment, à l'aide de perfectionnements toujours nouveaux, au développement pacifique du commerce et de toutes les industries.

Les progrès que nous avons signalés dans les lignes qui précèdent, ainsi que les différences apportées dans la fabrication dans le cours du temps, peuvent être exprimés nettement dans les tableaux suivants :

PRODUCTION DE LA FRANCE.

Année.	Fonte.	Fer.	Valeur totale.	Acier.
1787[1]	24,180 ton	26,624 ton		
1835[2]	294,799	204,119	140,492,529 f	5,945 ton
1869	1,380,965	903,719	329,216,451	102,614

n voit donc que, dans l'espace de quatre-vingt-deux ans, de 1787 à 1869, la production de la fonte en France est devenue plus de 57 fois et celle du fer plus de 37 fois plus grande, et que, depuis quarante ans seulement, depuis 1835, elles ont l'une et l'autre presque quintuplé, tandis que la production de l'acier a augmenté dans la proportion de plus de 1 à 20.

Ces chiffres suffisent pour montrer le développement considérable qu'a acquis l'industrie du fer en France pendant le siècle actuel; mais il est nécessaire aussi d'essayer de faire voir les tendances des transformations qui se sont opérées et le résultat des efforts tentés pour réduire les prix

1. *Journal des Mines.*

	Fonte.	Fer.
Alsace	92000 qx	61720 qx
Les Trois-Évêchés	»	43860
Champagne	»	62700
Berry	151750	94937
Généralités de Pau et d'Auch	»	57800
Roussillon	»	47000
Lorraine	260000	145000

2. Nous prenons 1835 comme un des termes de comparaison, parce que cette année, bien qu'ayant ressenti les effets de la révolution de 1830, est l'une des dernières où les méthodes anciennes furent appliquées, l'une des premières où se manifestèrent les principaux progrès.

de revient pendant que s'élèvent les prix de la main-d'œuvre et ceux de toutes choses.

Nous avons déjà vu que les petites usines avaient été en grande partie éteintes ou déplacées avant la guerre, et surtout après 1860. Cela résulte des tableaux suivants :

Année.	Usines.	Force hydraulique.	Force vapeur.	Force totale.
1835	866	20,279ch	2,381	22,660ch
1869	1,105	20,861	55,433	76,294
	(318)	»	(47,933)	

Nous voyons donc qu'en 1869 le nombre des usines à fer, comprenant encore les fonderies de seconde fusion avec 1,089 cubilots et 57 fours à reverbère, n'avaient augmenté que d'un tiers, tandis que la force qu'elles employaient était plus de trois fois plus grande qu'en 1835, et 318 usines seulement, animées par la vapeur, occupaient une force double de celle des 866 de 1835.

On reconnaît donc clairement la tendance toujours croissante de l'extinction des petites usines, et c'est ce que l'on peut déduire mieux encore de l'examen détaillé des Notes publiées par les ingénieurs de l'État.

La transformation des méthodes de fabrication et l'abandon croissant de l'emploi du charbon de bois résultent aussi du tableau suivant :

DÉSIGNATION.	1835.	1856.	1864.	1869.
Hauts-fourneaux au bois............	410	385	210	91
Hauts-fourneaux aux deux combustibles.	28	86	83	55
Hauts-fourneaux au coke.	»	120	137	142
Totaux.................	438	591	430	288
Forges catalanes.	108	93	15	24
Affineries diverses................	910	606	462	328
Fours à puddler..................	204	931	962	1111
Fonte produite au bois.............	246484t	»	210974t	112690t
Fonte produite aux deux combustibles.	48314	»	»	»
Fonte au coke ou mélangé..........	»	»	908748	1268274
Fers au bois ou aux deux combustibles.	209538	»	86038	55225
Fers à la houille.................	»	»	706025	848493

Ce tableau nous montre le délaissement progressif des hauts-fourneaux au bois et des méthodes qui l'employaient exclusivement, délaissement nécessité d'ailleurs par l'élévation croissante du prix des charbons végétaux et la réduction des prix des fers et fontes fabriqués au coke ou à la houille[1].

1. Prix de 100 kilos de charbon de bois (Gueymard).

	1700	1800	1820	1830	1841
A Allevard.........	2f.14	3.57	5.00	6.00	6.50

Nous y voyons encore l'indication des progrès réalisés, progrès qui se manifestent par des économies notables et par des rendements bien supérieurs à ceux que l'on obtenait autrefois.

	1835.	1869.	
Produit moyen annuel des hauts-fourneaux. .	673ton		
— au bois.		1,100ton	
— au coke.		6,057	
Combustible employé par tonne.	1,548k	1,290k	(1868).
Prix du combustible par tonne.	85.03f	33.8f	(*Id.*)

Enfin, nous pouvons reconnaître que les forges catalanes tendent de plus en plus à disparaître et à être remplacées par les forges anglaises.

C'est, du reste, ce que l'on pouvait prévoir, du moment que l'usage du bois restreignait la production locale et que les chemins de fer permettaient de transporter les minerais près des grandes usines établies au voisinage des houillères.

En 1872, on a pourtant vu se rallumer un grand nombre de ces feux éteints déjà depuis plusieurs années. Des hauts-fourneaux au bois ont été remis en activité ; mais les circonstances nouvelles qui ranimaient vivement l'industrie du fer dépendaient non-seulement de la hausse des prix des fers et des fontes, mais encore de la possibilité de produire des fontes particulièrement recherchées pour la fabrication de l'acier.

L'acier, que l'on n'employait autrefois, ainsi que nous l'avons déjà dit, qu'en quantités relativement faibles, venait d'entrer dans une nouvelle phase qu'ouvraient de nombreux procédés nouveaux et particulièrement le procédé Bessemer, et rien ne peut mieux montrer les progrès réalisés et les changements opérés que le tableau suivant :

Acier.	1826.	1835.	1869.
De forge	3,256ton	2,637ton	1,331ton
De cémentation	1,500	3,307	6,309
Bessemer, Martin, etc.	»	»	70,113
Fondu	158	323	7,610
Pudlé	»	»	24,861

En 1835, neuf départements seulement concouraient à la fabrication de l'acier, parmi lesquels l'Ariége, l'Isère et la Nièvre occupaient les premiers rangs. En 1869, on voit un grand nombre d'usines dans dix-huit départements, et la production de la Loire et du Gard dépasse de beaucoup celle de tous les autres. L'acier Bessemer, ou l'acier Siemens-Martin, sont appelés à un grand avenir. Grâce à l'emploi du ferro-manganate, on est parvenu à rendre ces procédés de fabrication très-pratiques, et on a pu obtenir des produits homogènes et réguliers qu'on avait longtemps vainement cherchés.

Ainsi la France, à la faveur des gisements des Pyrénées, des mines d'Afrique ou de son voisinage de l'Espagne, pourra sans doute développer

cette fabrication avec succès; on peut prévoir l'époque à laquelle ces nouveaux produits seront, en quelque sorte, acclimatés, et où nous verrons en acier Bessemer ou Siemèns-Martin les rails de nos chemins de fer, les bandages et les tôles, ainsi que les canons.

CONCESSION DES MINES DE FER EN FRANCE.

Au 31 décembre 1869, la France (sans la Corse), comptait 265 concessions de mines de fer, savoir :

DÉPARTEMENTS.	TOTAL.	SURFACE.	DÉPARTEMENTS.	TOTAL.	SURFACE.
		hectares.			hectares.
Isère	45	7937	*Report*	239	119396
Meurthe	26	8568	Côte-d'Or	3	946
Moselle	25	11860	Haute-Savoie	3	422
Pyrénées-Orientales	23	5466	Haut-Rhin	2	1042
Gard	18	23285	Vosges	2	1952
Savoie	14	3731	Bas-Rhin	3	237
Ardèche	11	9920	Haute-Marne	2	222
Doubs	10	2072	Haute-Vienne	1	1108
Aude	8	1458	Tarn	1	750
Basses-Pyrénées	7	15085	Var	1	726
Aveyron	7	6304	Creuse	1	604
Ain	7	4719	Corrèze	1	461
Haute-Saône	7	2041	Vaucluse	1	382
Loire	6	4803	Manche	1	345
Hérault	6	3212	Puy-de-Dôme	1	244
Nord	6	2791	Alpes-Maritimes	1	130
Jura	6	1579	Allier	1	97
Saône-et-Loire	4	2863	Drôme	1	82
Ariége	3	1702			
A reporter	239	119396	Total	265	129146

Depuis la guerre, le nombre des concessions s'est notablement augmenté, mais nous devons déduire, de l'ensemble général, celles de la Moselle et du Bas-Rhin, au nombre de 28 et d'une étendue de plus de 12,000 hectares, près d'un dixième de l'étendue totale.

L'annexion de la majeure partie de la Moselle et du Bas-Rhin à l'Allemagne a enlevé à la France de puissantes usines et un riche gisement dont nous parlerons plus bas.

En 1869, il n'y avait cependant que 81 concessions de mines en travail et 343 minières, occupant ensemble 9,987 ouvriers, avec une force motrice de 736 chevaux.

Ces chiffres viennent à l'appui de ce que nous avons dit plus haut relativement aux modifications qu'a subies, dans le cours du temps, l'industrie du fer.

Ces changements sont indiqués par les chiffres suivants :

	1835	1856.	1864	1869.
Mines concédées en travail	60	143	85	81
Minières	2,395	1,227	797	343

	1835.	1856.	1864.	1869.
Produit.	2,013,472ton	4,608,431ton	3,993,322ton	3,130,802ton
Nombre d'ouvriers.	14,808	20,534	14,879	9,987
Produit par ouvrier	135	224	267	313

On voit donc que, de 1835 à 1869, les exploitations ont été concentrées de plus en plus sur les principaux gisements ; que la liberté accordée au propriétaire du sol de travailler les minerais sans être soumis à des exigences d'aucune sorte, après le décret de 1866, n'a pas empêché le nombre de ces minières de diminuer, et que, dans le même temps, si la main-d'œuvre s'est élevée, on doit reconnaître que le produit utile de chaque mineur a notablement augmenté.

On pourrait peut-être encore déduire de ces chiffres l'abandon de nombreux points d'extraction, par suite du délaissement croissant de hauts-fourneaux au bois qui n'avaient dû leur existence qu'au voisinage de gisements, souvent superficiels, situés au milieu des forêts, ou par suite de la nécessité de rechercher jusqu'à l'étranger des minerais qui fussent plus en harmonie avec les conditions nouvelles de fabrication.

Nature des minerais. — Si on jette un coup d'œil général sur la France, au point de vue de la nature des minerais, de leur importance relative et de leur position géographique, on voit qu'on y trouve :

Fer oxydulé, magnétite ;
Fer oligiste-oxydé rouge, hématite rouge;
Peroxyde de fer hydraté, ou fer hydroxydé, limonite, hématite brune ;
Fer carbonaté lithoïde;
Fer spathique, propre à la fabrication de l'acier.

Le *fer oxydulé* constitue plusieurs gisements importants, seul ou mélangé avec le fer oligiste; mais il n'a donné lieu jusqu'ici qu'à une faible production.

Le *fer oligiste* existe abondamment sur quelques points, comme dans les départements de l'Ardèche, où il est activement exploité, et dans la Manche.

Le *fer oxydé hydraté* a été jusqu'à présent le minerai le plus important en France; il forme les puissants gisements oolithiques de l'Est et tous les dépôts tertiaires du Berry, de la Haute-Saône, etc., répandus dans un grand nombre de départements. Il se présente en filons, en amas, ou en couches.

Le *fer carbonaté lithoïde* est répandu en rognons, ou en couches peu étendues, dans plusieurs bassins houillers, et il n'a montré qu'un seul gisement, dans le Gard, qui ait pu donner lieu à une exploitation régulière et suivie.

Le *fer carbonaté spathique* devient chaque jour de plus en plus recherché à cause de ses propriétés aciéreuses. Il existe dans les montagnes, telles que les Alpes et les Pyrénées, en filons puissants et nombreux dont l'importance s'accroît avec le développement des voies ferrées

Si nous parcourons maintenant les divers départements de la France qui renferment ou produisent des minerais de fer, nous essayerons de montrer l'importance relative de chacun d'eux et la nature des minerais qu'ils renferment.

Ce que nous dirons suffira pour montrer quels sont, aujourd'hui, les gisements les plus productifs, et quel a été le mouvement de la production dans ces quarante dernières années[1].

Pas-de-Calais.

Les principaux minerais actuellement extraits sont des hydroxydes en grains provenant, pour la plupart, des sables et argiles du grès vert. Ils entrent pour une partie dans l'alimentation des hauts-fourneaux du département, comprenant ceux de l'usine bien connue de Marquise, et de ceux d'Anzin (Nord), complétés par des minerais d'autres lieux ou étrangers, belges ou espagnols, etc.

Leur composition est la suivante :

Matières volatiles..	15,10
Peroxyde de fer.	49,14
Silice et argile.	34,76
Alumine.	1,00
	100,00

Hauts-fourneaux en	1835.	0
—	1869.	5
Production de minerai en	1835.	3,000 tonnes.
—	1856.	328,657 —
—	1864.	282,897 —
—	1869.	89,705 (préparé).

Nord.

Les minerais qu'on y exploite proviennent de l'arrondissement

1. Un grand nombre d'analyses et de documents proviennent des travaux des ingénieurs de l'État, on trouvera notamment beaucoup de détails utiles dans la notice publiée par l'administration des mines à l'occasion de l'Exposition de 1867.

d'*Avesnes* et des environs de *Maubeuge*. Ils consistent en hématites rouges, et en peroxyde hydraté jaune auprès de Maubeuge.

Hauts-fourneaux en	1835	2	
—	1869	11	
Minerai produit en	1835	13,337	tonnes.
—	1856	155,569	—
—	1869	12,220	—
—	1871	19,000	—

Ardennes.

C'est l'une des contrées où l'industrie du fer est la plus ancienne en France. Ainsi que nous l'avons vu plus haut, dans le douzième siècle on y fabriquait probablement déjà la fonte moulée.

Minerais d'alluvion. — *Margut*, *La Ferté*, *Brévilly*, *Gruyères*, *Haraucourt*, etc.

Fer en grains. — *Grandpré*, *Marcq*, *Champigneulles*, etc.

Ce gisement est encore le plus important du département. Il appartient à cette zone crétacée circulaire qui entoure le bassin de Paris, et se présente en couches peu profondes que l'on a généralement exploitées jusqu'ici à ciel ouvert. Ces couches doivent avoir une grande extension au milieu des sables du grès vert qui les renferment.

Rendement moyen : 42 pour 100 de fonte.

Oxford-clay. — Deux étages dont le plus important est celui de *Poix*, *Raillicourt*, *Barbaise*, *Terron*, etc.

L'étage supérieur, exploité à *Nouart*, *Belval*, *Tailly*, donne 30 à 35 pour 100 de fonte.

Devonien. — Oxyde hydraté à *Revin*, *Naux*, *Gespunsart*, *Fleigneux*, etc.

Les transformations opérées dans l'industrie du fer se sont fait vivement sentir dans ce département, ainsi que cela résulte des chiffres suivants :

Hauts-fourneaux en	1835	30	
—	1869	3	
Production de minerai en	1835	52,606	tonnes.
—	1856	246,118	—
—	1864	69,760	—
—	1869	27,834	—

Meuse.

Minerais tertiaires. — Remplissant les anfractuosités des terrains jurassiques.

Minerais des grès verts, analogues à ceux des Ardennes. — *Cierges, Bantheville*, etc.

Il rend 2/3 au lavage, 38 à 44 pour 100 de fonte.

Minerais néocomiens. — Exploités dans l'arrondissement de Bar-le-Duc, à *Hévilliers, Ancerville, Villers-le-Sec, Biencourt*, etc.

Les minerais géodiques et carbonatés qu'on en extrait sont composés de la manière suivante[1] :

	Minerai géodique.	Minerai carbonaté.
Peroxyde de fer	67,08	»
Protoxyde de fer	»	49,04
Oxyde de manganèse	4,00	0,60
— de chrôme	traces	»
Alumine libre	1,66	0,60
Chaux	»	4,00
Magnésie	0,53	0,72
Acide phosphorique	0,40	1,32
Silice libre	2,67	2,90
Argile	6,33	6,80
Sable quartzeux	1,33	»
Perte	16,00	33,72

Hauts-fourneaux en 1835. 34
— 1869. 18

Minerai produit en 1835. . . . . . 39,237 tonnes.
— 1856. . . . . . 236,530 —
— 1864. . . . . . 128,333 —
— 1869. . . . . . 63,280 (lavé).

Meurthe-et-Moselle.

Les minerais qu'on y exploite sont *tertiaires* et *oolithiques*. Les premiers remplissent des poches ou des bassins superposés ou insérés dans les calcaires inférieurs, et les seconds appartiennent à ce grand horizon ferrifère oolithique, que nous avons déjà signalé.

Cet horizon, qui montre ses affleurements sur le versant gauche de la Moselle jusqu'à Liverdun, sur les deux versants de la Meurthe et sur ceux de la haute Moselle, s'étend, dans cette partie de la France, depuis la frontière du Luxembourg jusqu'au delà de Nancy, sur plus de 100 kilomètres.

L'hydroxyde y forme tantôt une couche, tantôt plusieurs dont la puissance totale, avec les intercalations marneuses, varie de 2 à 35 mètres. Ces couches reposent directement sur le grès supraliasique et sont recouvertes par des marnes grises micacées d'une remarquable constance.

1. Sauvage. *Géologie de la Meuse.*

Elle était exploitée souterrainement et à la surface du sol sur un grand nombre de points, et particulièrement dans la Moselle, à Moyeuvre et à Hayange où les travaux avaient déjà un développement d'environ 3,000 mètres, il y a quarante ans. Depuis cette époque, un grand nombre d'usines nouvelles ont été élevées, et aujourd'hui, depuis l'annexion d'une partie de cette contrée à l'Allemagne, le gisement qui s'étend sous la Meurthe acquiert une très-grande importance.

Aux environs de Nancy, cette couche incline vers l'ouest avec une pente de 3 centimètres par mètre seulement; on n'en connaît pas la limite dans ce sens, et par conséquent ce qui reste à la France offre d'immenses ressources dont l'étendue vers l'ouest reste indéterminée.

Composition du minerai[1] :

Hayange.	Minerai brun.
Peroxyde de fer	0,411
Protoxyde de fer	0,320
Eau	0,105
Silice	0,085
Alumine	0,022
Carbonate de chaux — de magnésie	0,040
Sable	0,010

Il renferme encore un peu d'acide phosphorique et rend de 28 à 40 pour 100 de fer.

		1835.	1869.
Hauts-fourneaux :	Moselle	15	36
—	Meurthe	0	10

	Année.	Moselle.	Meurthe.
Production de minerai en	1835.	42,809 ton.	312 ton.
—	1856.	230,200	11,180
—	1864.	455,017	134,000
—	1869.	1,067,170	430,096

Ces chiffres montrent toute l'importance des gisements ferrifères et tout le développement de l'industrie sidérurgique dans ces contrées depuis quarante ans, et ils indiquent aussi combien a été grande pour nous, au point de vue industriel, la perte de la Moselle.

Vosges.

On y exploitait des minerais tertiaires, mais particulièrement des mines en filons donnant des hématites brunes manganésifères, des fers carbonatés ou oligistes. Un grand nombre de ces filons, travaillés dans

1. Meugy.

les siècles passés et particulièrement dans le dernier, ont été abandonnés, pour la plupart, soit à cause de l'approfondissement des travaux, soit à cause de changements dans la nature du minerai qui devenait cuivreux ou sulfureux. Tous ces gisements étaient abandonnés en 1869.

Production en 1835	5,679	tonnes.
— 1864	4,888	—
— 1869	0	—

Haute-Marne.

Les minerais de ce département qui, dans tous les temps, fut producteur de fer, sont *néocomiens*, *oxfordiens* et *tertiaires*.

Oxfordiens. — A *Marault*, 36 pour 100 de fonte.

Latrecey, *Château-Vilain*, etc., couches de 0,70 à 2 mètres de peroxyde de fer hydraté; donne 31 à 33 pour 100 de fonte.

Poissons, *Noncourt*, *Montreuil-sur-Thonnance*, *Chatonrupt*, etc., minerai géodique dans les anfractuosités des calcaires portlandiens supérieurs, 42 pour 100 de fonte.

Néocomiens. — *Morancourt-Nomécourt*, minerais géodiques en amas, donnant 42 pour 100 de fonte.

D'*Eurville* à *Saint-Dizier* existe une couche de minerai en grains de 0,60 à 0,90 de puissance, donnant 33 à 45 pour 100 de fonte, située dans le néocomien supérieur.

A *Eurville*, puissant amas de minerai géodique, donnant 40 pour 100 de fonte.

Vassy, minerai en couches d'environ 0,90 de puissance moyenne.

Composition du minerai de *Vassy* :

Argile	0,105
Peroxyde de fer	0,645
Alumine	0,055
Eau	0,185
Magnésie	traces

Hauts-fourneaux actifs en 1835	64	
— 1869	62	
Production en 1835	139,799	tonnes.
— 1856	645,870	—
— 1869	383,719	—

Aube. — Marne.

Minerai *néocomien.*—A *Vendeuvre*, *Champ-sur-Barse*, *Villy-en-Trode*, etc. dans l'Aube. Dans ce département, comme dans ceux qui l'environnent

on rencontre une foule d'endroits où se montrent des scories anciennes, comme à *Estissac*, etc., indiquant un travail du fer prolongé et à toutes les époques. On y rencontre aussi des lieux du nom de *forges* rappelant le souvenir de ces exploitations.

Cheminon, etc., dans la Marne.

	Aube.	Marne.
Hauts-fourneaux actifs en 1835.	0	2
— 1869.	0	1
Minerai extrait en 1835.	0 ton.	2,204 ton.
— 1856.	22,041	5,168
— 1864.	12,139	3,300
— 1869.	1,392	3,273

Yonne.

Minerai à gros grains dans les anfractuosités du calcaire oxfordien supérieur, à *Sennevoy-le-Haut*, *Gland*, *Stigny*, etc.

Minerai à grains fins dans les argiles oxfordiennes inférieures, à *Sennevoy-le-Bas* et environs. Couche de 0,60 exploitée à ciel ouvert.

Composition :

	Gros grains.	Grains fins.
Peroxyde de fer.	53,00	66,25
Silice.	28,00	10,50
Alumine.	6,50	2,75
Matières volatiles.	12,50	20,50

Hauts-fourneaux actifs en 1835.	4	
— 1869.	0	
Minerais extraits en 1835.	8,942	tonnes.
— 1856.	2[illegible],333	
— 1869.	0	

Côte-d'Or[1]. — Saône-et-Loire.

Les minerais de la Côte-d'Or sont tertiaires et pisiformes, comme à *Prémorot*.

En couches de 1 à 2 mètres d'épaisseur dans les lumachelles de l'infralias, à *Thostes* et à *Beauregard*, ou en couches d'environ 2 mètres dans le terrain oxfordien, à *Étrochey*, *Montliot*, etc.

La couche de Thostes appartient à un horizon ferrifère qui s'étend dans Saône-et-Loire, le long des pentes du Morvan, où le Creusot entretient d'importantes exploitations.

1. *Mines du plateau de Thostes*, par Évrard. *Géologie de l'Auxois*, par Collenot.

Les gisements se montrent à *Chalancey*, *Pereuil*, *Thury*, *Vellerot*, *Lacour-d'Arcenay*, *Juilleray*, *Montlay*, *Nolay* et *Mazenay*.

Composition du minerai :

	Thostes.	Mazenay.	Montliot.	Prémorot.
Silice.	13,25	11,32	8,80	»
Alumine.	10,95	4,26	8,90	»
Peroxyde de fer.	67,50	41,98	54,85	34,00
Oxyde de manganèse.. .	1,39	0,34	»	»
Carbonate de chaux.. .	2,23	»	»	»
Eau et perte.	3,89	21,55	19,95	25,00
Chaux.	»	19,75	7,50	20,50
Magnésie.	»	0,80	»	traces.
Quartz et argile.	»	»	»	20,10

Les minerais de Thostes et Beauregard sont exploités pour les usines de Châtillon.

Outre les importantes exploitations de *Mazenay*, le département de Saône-et-Loire possède encore des minerais tertiaires à *Génelard*, et à *Chiseuil* un puissant filon ferrugineux dans le gneiss qui devient pyriteux dans la profondeur. Les minerais extraits de la tête de ce filon ont donné 41 pour 100 de fonte.

		Côte-d'Or.	Saône-et-Loire.
Hauts-fourneaux actifs en	1835. . . .	20	11
—	1869. . . .	3	13
Minerais extraits en	1835. . .	51,336 ton.	18,586 ton.
—	1856. . .	194,397	51,198
—	1864. . .	107,908	196,573
—	1869. . .	30,562	256,414

Haute-Saône.

On y connaît, depuis les temps les plus reculés, des minerais tertiaires en grains abondants dans l'arrondissement de Vesoul et particulièrement dans celui de Gray, sur les territoires de *Pesmes*, *Monseugny*, *La Résie-Saint-Martin*, *Auvet*, *Cugney*, *Valay*, *Vadans*, *Bouhans*, *Montureux*, *Delain*, *Renaucourt*, *Vellexon*, *Noidans-le-Ferroux*, *Raze*, etc.

Des minerais en poudre dans des marnes oxfordiennes, exploités dans une seule localité, à *Percey-le-Grand*.

Des minerais oolithiques dans une couche de 0,80 à 4 mètres de puissance, située à la base de l'oolithe, à *Callemoutier*, *Jussey*, *Vellefaux*, *Pisseloup*, etc.

Il existe dans la Haute-Saône une zone à minerai de fer, en poudre noire très-fine, disséminée dans une couche marneuse située au-dessus des marnes néocomiennes.

Les essais faits sur cette couche (commune du *Tremblais*) ont donné des résultats insuffisants[1].

On y connait encore deux gisements dans le porphyre :

Celui de *Saulnot*, donnant un minerai oxydé rouge très-riche, enclavé dans un porphyre de transition, et celui de *Servance* avec fer oligiste dans un porphyre noir; tous deux inexploités.

La concurrence des fers à la houille a amené l'extinction successive de la plupart des usines à fer qui, au nombre de plus de 50 il y a vingt ans, ne comptent plus que 4 à 5 feux de forge et 11 hauts-fourneaux en 1873.

Composition des minerais :

	Tertiaires.		Oolithiques.	
	Pesmes.	Autrey.	Calmoutier.	Jussey.
Eau et oxygène.	0,162	0,160	0,058	0,054
Peroxyde de fer.	0,682	0,688	0,407	0,488
Oxyde de manganèse. .	0,012	0,020	0,015	0,008
Oxyde de chrôme. . . .	traces.	»	»	»
Alumine soluble.. . . .	8.048	9,082	»	0,024
Carbonate de chaux. . .	traces.	0,006	0,403	»
Argile.	0,094	0,120	0,120	0,193
Acide phosphorique. . .	»	»	0,004	0,003

Hauts-fourneaux en 1835. 37
— 1869. 10
Minerais extraits en 1835. . . . . 113,946[ton] (lavé).
— 1856. . . . . 461,122 (brut).
— 1864. . . . . 113,410 (*Id.*).
— 1869. . . . . 29,013 (lavé).

Haut-Rhin. — Belfort.

Minerais tertiaires, en amas ou en couches au-dessus des terrains jurassiques, aux environs de *Belfort*, exploités pour les forges d'Audincourt, et filons dans le *mont Salbert*.

Doubs et Jura.

Dans ces deux départements, on possède les minerais tertiaires (sidérolithiques) à *Exincourt* (46 pour 100 fonte) dans le Doubs, à *Mercey-le-Grand*, etc., dans le Jura;

Des minerais néocomiens à *Métabief* (Doubs), à *Boucherans* (Jura);

Des minerais oolithiques dans une couche de 4 mètres de puissance, à la base de l'oolithe, rendant 28 à 33 pour 100, à *Deluz*, *Souvance*, etc. (Doubs), *Malange*, *Ougney*, etc. (Jura).

1. Peron, note inédite.

A Malange, la couche est formée de deux bans : l'un, inférieur, de 1m,33, composé de mine rouge; l'autre, de 1m,33 et formé de mine brune.

Composition du minerai :

	Mine rouge.	Mine brune.
Silicate d'alumine.	0,180	0,221
Alumine soluble.	0,044	0,003
Peroxyde de fer.	0,501	0,477
Chaux.	0,110	0,135
Eau et acide carbonique.	0,165	0,164

		Doubs.	Jura.
Hauts-fourneaux en	1835. . .	11	11
—	1869. . .	1	3
Minerais extraits en	1835. . .	14,902ton.	8,322ton.
—	1856. . .	27,692	189,384
—	1864. . .	44,607	111,192
—	1869. . .	27,235	79,957

Ajoutons que ces contrées renferment les traces de nombreuses exploitations et d'usines qui remontent aux Gallo-Romains et même aux temps de la Gaule indépendante.

Ain.

Les minerais qu'on y extrait à la mine de *Villebois* proviennent de la couche oolithique que nous avons déjà vue dans le nord-est. Sa puissance est de 1m,80. Ces minerais sont transportés aux hauts-fourneaux de la Loire et de l'Ardèche.

Minerais extraits en	1835.	1,260 tonnes.
—	1856.	12,066
—	1864.	13,790
—	1869.	6,293

Savoie. — Haute-Savoie. — Isère.

Ces contrées, qui appartiennent au groupe central des Alpes françaises, jouissent depuis longtemps d'une grande réputation à cause de la qualité des fers et des aciers qu'elles fournissent.

Dans l'Isère, indépendamment du gîte bien connu de la *Verpillière*, analogue aux couches oolithiques de l'Est[1], on rencontre de nombreux filons de fer spathique, particulièrement concentrés dans la chaîne de Belledonne, depuis la vallée de l'Arc jusqu'aux gorges de la Romanche.

1. *Statistique de l'Isère*, par Gueymard. — *Géologie du Dauphiné*, par Lory.

Les plus importants d'entre eux se montrent aux environs d'*Allevard* et d'*Articol* où ils ont été exploités depuis un temps immémorial, et utilisés pour les forges catalanes avant de l'être pour les hauts-fourneaux.

On y distingue les filons de *Rives* manganésifères et à grains fins, et les filons *Maillats*, plus récents, qui traversent les grès du trias et contiennent moins de manganèse et plus de magnésie.

On en voit encore beaucoup, particulièrement *Maillats*, aux environs de *Vizille*, à *Mézages*, comme au *Lacmort*, à *Saint-Thioffrey* et à la *Motte-Saint-Martin*.

Tous ces filons, d'une puissance irrégulière atteignant quelquefois 4 et 5 mètres, sont encaissés dans les schistes talqueux ou dans les gneiss. Lorsqu'ils ont subi l'action des agents atmosphériques, ils montrent le fer spathique altéré et transformé en hydrate de peroxyde de fer dite *mine douce*, que les anciens recherchaient plus particulièrement.

Le minerai spathique est souvent quartzeux; il présente des associations de galène, de cuivre pyriteux, de blende, de cuivre gris qui, dans quelques cas, le rendent impropre à la fabrication du fer. Des travaux importants y sont aujourd'hui (1873) en cours d'exécution, et on a constaté que l'opinion admise autrefois que ces filons se terminaient en coin, est erronée.

La Savoie est également très-riche en minerais de fer, et, depuis la guerre de 1870, les gisements qu'elle possède ont été l'objet d'explorations très-actives; depuis cette époque, plusieurs des anciens fourneaux au bois ont été rallumés par suite de l'élévation du prix des fontes et de leur qualité aciéreuse particulièrement propre à l'acier Bessemer.

On y trouve des gisements, situés à divers niveaux géologiques, d'où l'on peut extraire des minerais hydroxydés, oolithiques, oligistes, oxydulés, qui presque tous ont été l'objet de travaux très-anciens; mais les plus importants d'entre eux existent dans les schistes cristallins et fournissent des minerais de fer spathique particulièrement composés de rives fins.

Dans la Maurienne, à *Fresney*, aux environs de *Modane*, près de la mine de plomb des *Sarrazins*, se montrent des filons puissants et étendus.

A *Saint-Georges-d'Hurtières* et dans le même groupe de montagnes formant la rive gauche de l'Arc, on voit tout un faisceau de filons spathiques généralement parallèles, d'une très-grande étendue et dont les affleurements se trouvent à une grande élévation au-dessus du niveau des vallées [1].

1. *Description géologique et minéralogique de la Savoie*, par de Mortillet.

Composition du fer spathique de *Saint-Georges-d'Hurtières :*

Carbonate de fer	0,81
— de manganèse	0,13
— de chaux	0,035
— de magnésie	0,015
Quartz, argile	0,010

		Isère.	Savoie (province).
Hauts-fourneaux en	1835	6	15 (1838)
—	1869	4	2
Minerais extraits en	1835	3,503 ton.	» ton.
—	1856	28,534	6,201
—	1869	9,500	831

Eure. — Orne. — Sarthe. — Eure-et-Loir.

L'Ouest de la France a subi, comme la Franche-Comté, l'influence de l'accroissement de la production des fontes au coke; mais le développement des voies ferrées et la transformation qui s'opère dans la fabrication lui donnent en ce moment (1873) une activité qu'on n'y avait pas vue depuis longtemps.

Ces quatre départements présentent de nombreux gisements tertiaires, appartenant pour la plupart au terrain miocène, exploités le plus souvent à ciel ouvert et quelquefois par puits de peu de profondeur.

Les minerais sont des hydroxydes donnant de 32 à 40 pour 100 de fonte.

Ils sont connus à *Piseux*, *Conches*, *la Fidelaire*, *Nogent-le-Sec*, etc., dans l'Eure; à *Crulay*, *Notre-Dame-d'Apres*, *Autheuil*, *Neuilly*, *Monnay*, *Sap*, etc., dans l'Orne; dans beaucoup de localités dans Eure-et-Loir et dans la Sarthe.

Dans l'Orne, on exploite en outre des couches de 1m,20 à 3 mètres d'oxydes de fer hydratés, donnant 35 à 40 pour 100 de fonte, associés à des schistes et à de l'argile dans les terrains siluriens, comme à *la Gatine*, commune de la *Laude-de-Goult;* à *la Ferrière*, arrondissement d'Alençon.

A *Saint-Clair-de-Halouze*, dans le même département, se trouvent d'anciens travaux exécutés sur un gîte de même nature.

		Eure.	Orne.	Sarthe.	Eure-et-Loir.
Hauts-fourneaux en	1835	10	10	5	1
—	1869	1	3	1	1
Minerais extraits en	1835	10,848	11,443	6,041	2,218
—	1856	16,000	14,471	6,000	»
—	1864	14,881	5,862	2,796	»
—	1869	1,125	4,170	1,158	»

Finistère. — Morbihan. — Côtes-du-Nord. — Manche. — Ille-et-Vilaine. — Mayenne.

Dans ce groupe, qui forme les presqu'îles de la Manche et du Finistère, les minerais de fer constituent des gîtes nombreux insérés, pour la plupart, dans les terrains de transition.

Dans l'extrémité ouest du *Finistère*, des couches d'hématite brune et rouge se montrent dans les communes de *Landevennec*, *Argol*, *Trégarvan*, *Dineault*, *Rosnoen*, etc., au milieu du terrain devonien; quelques-unes d'entre elles peuvent être suivies sur plusieurs kilomètres. Leur épaisseur, quelquefois grande, est très-variable, comme la qualité même du minerai qui, de l'hématite brune fibreuse la plus riche, passe graduellement au grès simplement coloré[1].

On trouve les traces d'anciennes exploitations dans une foule de points et des scories partout. On n'a pas conservé le souvenir de ces travaux, qui paraissent remonter à une époque très-reculée.

Des gisements de la même nature existent dans le *Morbihan* et l'*Ille-et-Vilaine*.

Dans la *Manche*, on rencontre plusieurs sortes de gisements et entre autres celui de *Dielette*, l'un des plus remarquables que nous connaissions en France.

Au petit port de ce nom, à quelque 200 mètres du rivage, au milieu des schistes durcis, noirs et pétrosiliceux, presque verticaux, qui forment la plage et reposent sur les granites du littoral, on voit plusieurs filons-couches de minerai de fer dont la puissance varie de 1 à 9 mètres. Ces couches marchent parallèlement au rivage qui suit la ligne de jonction des schistes et des granites.

Les minerais sont formés de fer oligiste et de fer oxydulé magnétique, et ce dernier présente quelquefois des épaisseurs compactes de près de 1 mètre. Ils rendent à l'essai de 45 à 50 pour 100 de fer et ont donné, aux hauts-fourneaux de Maubeuge, 48 à 50 pour 100 de fonte.

Ce remarquable gisement se trouve malheureusement recouvert par toutes les marées; jusqu'à présent il n'a encore été travaillé qu'à ciel ouvert pendant les marées basses, et ce mode d'extraction restreignait forcément la production qui ne pourra devenir importante et considérable que lorsqu'on aura entrepris l'exploitation souterraine.

Aux environs de *Cherbourg*, on rencontre encore, près de *Bourberouge*, de *Sauxmesnil* et de *Tourlaville*, des bancs d'hydroxyde de fer où ont été pratiquées de nombreuses extractions anciennes et récentes. Les minerais, rendant en moyenne 35 pour 100 de fonte, étaient exportés en Angleterre.

1. Guiller. *Note inédite.*

Dans les *Côtes-du-Nord*, parmi les gisements connus, on remarque celui de *Bas-Vallon*, composé de silico-aluminate magnétique.

Dans la *Mayenne* on exploite de nombreux gisements de fer oxydé hydraté ou d'hématite, compacts, durs, schisteux ou géodiques, tertiaires ou quaternaires, reposant généralement sur le calcaire marbre ou remplissant des poches plus ou moins considérables du grès dévonien.

A *Bourgneuf*, *Saint-Ouen*, aux *Essarts*, près *Saint-Pierre-la-Cour*, etc.

A *Montfaucon* et au *Blandonet* le minerai est en couche horizontale d'épaisseur constante.

	Côtes-du-Nord.	Ille-et-Vilaine.	Morbihan.	Manche.	Mayenne.
Hauts fourneaux actifs en 1835.	5	7	6	1	6
— 1869.	3	1	2	0	3
Minerai extrait en 1835.	4494t	2751t	6854t	1649t	4938t
— 1856.	3024	4389	4501	6610	»
— 1864.	342	15614	2222	17500	9168
— 1869.	1223	4079	2529	2408	6751

Loire-Inférieure. — Maine-et-Loire.

Dans le premier de ces deux départements, les minerais de fer, comme ceux de *Rougé*, de la *Furetrie*, de la *Haute-Noé* et de la *forêt de Larche*, forment des amas abondants reposant sur les quartzites siluriens et recouverts par une épaisseur variable de sables argileux tertiaires.

Dans le *Maine-et-Loire*, il y a peu d'années seulement que l'on a reconnu et étudié les minerais de fer abondamment répandus dans l'arrondissement de *Segré*, comme sur les deux versants de la *Mayenne*. Ces minerais avaient été anciennement l'objet de travaux très-étendus dont on voit encore les vestiges.

Ils se présentent en couches de puissance variable, atteignant souvent plus de 1 mètre, insérées dans le terrain silurien qui, dans cette partie de la France, possède un très-grand développement.

Ces minerais, rapprochés du cours navigable de la Mayenne et des chemins de fer, sont aujourd'hui l'objet de recherches et de travaux nombreux (1873).

	Loire-Inférieure.	Maine-et-Loire.
Hauts fourneaux en 1835. . . .	1	1
— 1869. . . .	»	»
Minerai extrait en 1835. . . .	7,079ton	»
— 1856. . . .	5,696	»
— 1864. . . .	1,660	»
— 1869. . . .	»	»

Vienne. — Indre. — Indre-et-Loire. — Loir-et-Cher. — Charente.

La plupart des minerais de ces contrées sont tertiaires ou dits d'alluvions.

Tels sont ceux de *Cangey*, *Chambray*, *Azay-sur-Cher*, *Cigogné*, *Luzillé*, *Athée*, *Régnac* (*Indre-et-Loire*), donnant 25 pour 100 de fonte; *Château-Vieux*, *Monteaux*, *Mesland*, *Mareuil*, *Onzain*, *Sautenay* (*Loir-et-Cher*). Tels paraissent devoir être aussi, quoique dans le terrain oolithique, ceux que l'on exploite, dans la *Vienne*, dans les communes du *Vigean*, *Verrières*, *Journet* et *Saulgé*, et formant un horizon, encore imparfaitement défini, qui s'étend dans la *Charente* et se montre au *Vigean*, à *Saint-Secondin*, *Bouresse*, *Laferrière*; *Magné*, *Gençay*, *Verrières*, *L'hommaizé*, *Lussac-les-Châteaux*, *Sillards*, *Saulgé*, *Montmorillon*, *Journet*, *La Trimouille* et *Liglet*.

Dans l'*Indre*, les gîtes de *Chaillac* et de *Chênier*, formés d'hématite rouge, paraissent appartenir à une arkose triasique.

Tels sont, enfin, ceux de l'*Indre*, connus aux *Rozets*, *Vaux*; *le Péchereau*, *Cluis*, *Neuvy*, *Luant*, *Saint-Aout*, *Reuilly*, *Mezières-en-Brenne*.

Ces minerais correspondent à ceux du Périgord et de Lot-et-Garonne; comme eux, ils se trouvent, en quelque sorte, sur les plateaux qui entourent les montagnes granitiques du plateau central.

Composition du minerai :

	Saint-Aout.	Chaillac.
Peroxyde de fer	55,00	77,90
Argile	21,46	12,80 argile et silice.
Alumine libre	7,80	»
Carbonate de chaux	2,16	»
— de magnésie	1,58	»
Soufre	traces.	»
Eau	12,00	3,70
Sulfate de baryte	»	5,60

		Indre.	Indre-et-Loire.	Loir-et-Cher.	Vienne.	Deux-Sèvres.	Charente.
Hauts fourneaux en	1835	11	1	1	2	1	8
	1869	3	»	»	1	»	2
Minerais extraits en	1835	8,068ᵗ	1,140ᵗ	»	5,075ᵗ	799ᵗ	5,086
	1856	11,980	1,511	2,804	7,922	»	12,000
	1864	43,501	»	»	8,620	»	3,260
	1869	5,790	»	»	4,380	»	482

Cher. — Nièvre et Allier.

On exploite de nombreux gisements, depuis des siècles, dans le *Cher* et la *Nièvre*.

Dans cette contrée, on connaît des minerais crétacés, appartenant à

la bande des sables ferrugineux qui s'étend depuis Vierzon jusqu'en Bourgogne ; mais les plus abondants, composés de minerais en grains, de peroxyde de fer et d'hématite brune, et aussi les plus riches, que l'on retrouve dans la *Nièvre* et l'*Allier*, appartiennent au terrain tertiaire et sont en rapport avec des calcaires lacustres. Ce sont eux qui fournissent les excellents fers du Berry et du Nivernais.

Dans la vallée de l'*Aubois* (*Cher*), on exploite un dépôt de ces minerais, formant un bassin d'environ 12 kilomètres de longueur sur 5 de large. Ils y constituent une couche continue en fond de bateau, d'une puissance variable, mais atteignant souvent 2 et 5 mètres.

On voit encore des minerais jurassiques, comme dans la *Nièvre*, aux environs de *Prémery*, et lorsqu'on jette un coup d'œil sur la carte de Cassini, on trouve dans toutes ces contrées l'indication de nombreuses forges anciennes. Les minerais jurassiques paraissent y posséder une très-grande étendue, manifestée d'ailleurs par les traces d'anciens travaux.

Les porphyres du *Morvan* présentent aussi d'assez nombreux filons ferrugineux : *Champ-Robert*, *Arleuf*, *Château-Chinon*, etc. ; mais on n'en a tiré que des produits trop sulfureux pour être utilisés avantageusement. Comme ceux de la Dordogne, dont nous avons parlé, ces filons sont sans doute des filons de pyrite de fer, ou d'autres substances.

L'*Allier* ne possède que peu de gisements de fer, et les hauts-fourneaux qui s'y trouvent sont alimentés par les minerais des environs, ou étrangers.

		Allier.	Cher.	Nièvre.
Hauts fourneaux actifs en	1835	4	16	23
—	1869	12	8	0
Minerais extraits en	1835	2,342t	55,168t	21,414t
—	1856	2,780	928,014	111,040
—	1864	0	781,436	16,600
—	1869	0	226,516 (lavé)	12,320 (lavé)

Dordogne. — Lot-et-Garonne. — Lot et Tarn-et-Garonne.

Cette contrée est encore l'une des plus célèbres par la production des minerais qu'elle a fournis dans tous les temps et par la qualité de ses fers au bois.

C'est du Périgord que provenaient, dans le dix-septième siècle, les canons, les bombes et les boulets qui approvisionnaient le port de Rochefort, et c'est de la même époque que datent la plupart des grosses forges de cette contrée.

Les minerais qu'on y exploite, en masses plus ou moins compactes engagées dans des argiles rouges, appartiennent à une série de gîtes tertiaires qui recouvrent les plateaux et s'étendent depuis la Charente jusque

dans l'Aveyron, ou remplissent les anfractuosités des calcaires inférieurs.

Les points connus sont : *Nontron*, *Hautefeuille*, *Couze*, *Excideuil*, etc., dans la Dordogne; *Montbrun*, *Salvagnac*, *Cressensac*, *Gourdon*, *Arques*, *Farges*, *Duravel*, *Calassou*, etc., dans la vallée du Lot; *Puycelsi*, *Laval*, près *Caussade*, *Cazals*, etc., dans la vallée de l'Aveyron.

Indépendamment de ces minerais tertiaires, formant des couches en fond de bateau plus ou moins prononcé et situées à la surface du sol, on en connaît encore dans le gneiss, comme à *Saint-Jory-de-Chaleix*[1], dans la Dordogne.

On y voit une masse anciennement travaillée par puits et galeries; mais les essais faits à l'époque à laquelle écrivait M. Delanoue n'ont produit que des fers cassants à froid et à chaud.

On y rencontre encore l'hydrate et le peroxyde anhydre, en masses irrégulières, accompagnant ordinairement les minerais de manganèse qui contribuent à l'excellente qualité dont jouissent les fers, fontes et aciers des environs de Nontron. Tels sont les gîtes de *Teyjac*, *Javerlhac*, *Saint-Martin-le-Peint*, *Nontron*, *Saint-Jory-les-Bloux*, *Excideuil*, etc.

Composition du minerai :

	Chaleix.	Nontron.		Arques.		Duravel.	
Eau	0,120	0,112	0,082	0,150	0,055	0,42	0,08
Alumine	0,005	0,002	0,095	0,010	0,015	0,09	0,03
Acide phosphorique	0,008	»	»	»	»	»	0,002
Oxygène dégagé	»	0,189	0,137	»	»	»	»
Peroxyde de fer	0,702	0,629	0,458	0,805	0,715	0,70	0,6
Résidu insoluble	0,160	0,006	0,185	0,050	0,055	0,14	0,155
Perte	0,005	»	»	»	»	»	»
Baryte	»	0,061	0,043	»	»	»	»
Oxyde de cuivre	»	0,001	»	»	»	»	»
Peroxyde de manganèse	»	»	»	0,005	0,070	0,016	0,015

		Dordogne.	Lot.	Lot-et-Garonne.	Tarn-et-Garonne.
Hauts fourneaux actifs	1835	27	1	4	1
	1869	8	»	2	»
Minerai extrait	1835	23,229t	1,030t	7,778t	485t
	1856	50,000	12,462	29,415	»
	1864	48,625	28,000	43,259	»
	1869	24,533	6,550	68,000	»

1. Delanoue. *Bulletin de la Société géologique de France.*

Landes et Gironde.

Les minerais qu'on y rencontre sont composés de fer peroxydé argileux, répandu dans un sable coquiller, ou de fer hydroxydé siliceux disséminé dans un sable quartzeux. Ils appartiennent au terrain tertiaire supérieur. On trouve le second, le principal minerai, à 0m,50 de profondeur, en grains ou en masses. La teneur est de 30 à 35 pour 100 de fer. Ces minerais sont un peu phosphoreux, et on les mélange aujourd'hui avec ceux du Lot, de la Dordogne ou de l'Espagne.

		Landes.	Gironde.
Hauts fourneaux actifs en	1835. . .	6	5
—	1869. . .	7	2
Minerais extraits en	1835. . .	1,036t	5,322t
—	1856. . .	20,742	9,310
—	1864. . .	8,563	74
—	1869. . .	7,063	0

Puy-de-Dôme. — Cantal. — Creuse. — Corrèze.

Excepté dans la *Corrèze* où on a exploité quelque peu de minerai géodique, remplissant des dépressions du terrain oolithique (*Nespouls*, *Ferrière*, etc.), les trois autres départements paraissent n'en avoir pas fourni depuis longtemps. Cependant les recherches de M. l'ingénieur Jusseraud, de Clermont, ont montré que les minerais ne manquaient pas dans certaines localités. Dans le *Puy-de-Dôme*, minerais tertiaires dans la plaine du Lembron. Ils paraissent former une couche presque superficielle, de 0,50 à 1m,50 de puissance, d'une exploitation facile dont l'étendue pourrait être de 12 à 15 kilomètres carrés. Ils ont donné de 26 à 35 pour 100 de fonte. Près du bassin de Brassac, au-dessus du village de Lempdes on rencontre encore, a la surface du sol, des blocs volumineux de peroxyde hydraté dont la présence paraît révéler l'existence rapprochée de gisements de fer. Ces minerais ont donné 77 pour 100 de peroxyde de fer et 55 pour 100 de fonte. On cite encore des gîtes importants à *Mauzun*, 50 pour 100 de fonte, *Montégut-le-Blanc*, 40 pour 100, *Saint-Pardoux*, 60 pour 100. Ces mines n'ont, pour ainsi dire, pas été étudiées jusqu'à présent.

Dans le *Cantal*, et particulièrement dans la chaîne du *Cézalier*, existent aussi des gîtes puissants et riches que M. Jusseraud a reconnus, et qui jusqu'ici ont été délaissés à cause de la difficulté des transports. D'après M. Jusseraud, on voit à *Fondvialle*, commune de Molèdes, un affleurement de 40 mètres de puissance, visible sur une hauteur de plusieurs centaines de mètres, au sein des terrains primitifs.

Le minerai a donné à l'analyse 68,90-79,52-80 pour 100 de peroxyde

de fer, et de 42 à 57 pour 100 de fonte. Dans la même contrée; mais dans le Puy-de-Dôme on signale les gîtes de *Vinsubre* et d'*Apcher* dont les minerais ont donné 70, 77, 78 pour 100 de peroxyde et de 48 à 53 pour 100 de fonte.

La *Creuse* ne paraît pas posséder de minerai de fer.

		Corrèze.
Hauts fourneaux actifs. en	1835. . . .	1
—	1869. . . .	0
Minerais extraits en	1835. . . .	0 tonnes.
—	1856. . . .	3,850
—	1864. . . .	2,700
—	1869. . . .	0

Ardèche [1].

Ce département renferme un grand nombre de gisements de minerai de fer, disséminés sur une étendue de plus de 120 kilomètres, depuis Soyons et la Voulte, sur les bords du Rhône, jusqu'à sa limite méridionale près Saint-Paul-le-Jeune. Les minerais qu'on en extrait alimentent les usines locales et celles de la Loire, du Gard et de l'Isère.

On y connaît un gisement triasique, situé au-dessous du calcaire dolomitique, formant une couche étendue, particulièrement développée entre *Aubenas* et *Largentière*.

La puissance du minerai y est variable de 0,80 à 5 mètres, et c'est à *Merzelet* ou aux environs qu'elle a présenté son maximum.

Ce minerai y constitue deux qualités. La plus fréquente est formée de peroxyde hydraté, brun, cloisonné, avec enduits brillants noirs manganésifères. Sa teneur en fer est de 40 à 45 pour 100. La seconde variété est un minerai pierreux, grisâtre, qui est un carbonate multiple de chaux, de magnésie, de fer, plus ou moins mêlé d'argile. Sa teneur en fer est d'environ 30 pour 100.

Ce gisement, quoique reconnu déjà sur d'assez grandes étendues, paraît limité, et il ne semble exister utilement que dans un des lambeaux triasiques du département.

Le célèbre gisement de la *Voulte* est connu depuis la fin du siècle dernier. Sa position géologique a été longtemps incertaine; mais les études de MM. Fournet, Grüner et E. Dumas l'ont rangé dans l'oxfordien.

Il consiste en une série de couches de minerai, d'une épaisseur totale d'environ 11^{m},40, réparties dans une épaisseur totale d'environ 18 mètres de calcaires et de schistes. L'ensemble de ces couches, divisées en trois

1. *Etude sur les terrains triasique et jurassique et les minerais de fer de l'Ardèche*, par Ledoux, 1868.

assises, présente à la base un minerai rouge à structure oolithique, d'une puissance de 2 mètres. De puissantes assises de minerai rouge feuilleté, d'une puissance de $7^m,50$, et enfin des bancs au toit, composés d'un minerai jaunâtre, dit minerai lithoïde, d'une épaisseur de $2^m,60$.

Ce gîte paraît former une lentille, connue sur 1,600 mètres en direction et diminuant de puissance dans la profondeur, dont la longueur, dans le sens de l'inclinaison, d'après les plans de M. Ledoux, pourrait être d'environ 300 à 320 mètres. En 1867, on en tirait 39,055 tonnes.

Le gisement de *Privas*, connu depuis longtemps, mais exploré seulement vers 1837, est géologiquement inférieur à celui de la Voulte; il est situé à la base de l'oolite et à la partie supérieure de l'étage supraliasique.

Il se compose de deux couches de minerai dont la nature minéralogique participe de celle des bancs dans lesquels elles sont intercalées.

Leurs affleurements sont connus sur une longueur d'environ 5 kilomètres, depuis Privas jusqu'aux environs de Saint-Priest; mais les dimensions de la partie exploitable paraissent plus limitées, ayant probablement 2,000 mètres dans le sens de la direction et 1,100 dans celui de l'inclinaison.

Un autre gisement de minerai oolitique a été reconnu, sur un grand nombre de points, dans les marnes supraliasiques, et notamment à *Saint-Priest*.

Il consiste en une couche de 2 mètres de puissance à *Saint-Priest*, et se retrouve à *Lublac*, *Saint-Étienne-de-Boulogne*, aux *Ferrières*, près des *Vans*, aux *Avelas*, entre *Bannes* et *Saint-Paul-le-Jeune*.

Tous les minerais de ces contrées, excepté ceux du trias, appartiennent à la classe des peroxydes anhydres, terreux, compactes, ou semi-cristallisés à l'état de fer oligiste pur. Ils sont quelquefois silicifères de manière à justifier le nom qu'on leur donne de minerais agatisés.

La position géologique de ces divers minerais a été établie par M. Ledoux dans le tableau suivant :

Calcaires supérieurs	250^m	Étage oxfordien.
Calcaires marneux	100	
Minerai de Pierre-Morte (Gard)		
Marnes grises feuilletées	200	
Minerai de la Voulte à la Tope		
Marnes siliceuses	30	Étage inférieur du système oolithique.
Minerai de Privas (banc supérieur)		
Minerai de Privas (banc inférieur)	15	Étage supraliasique.
Calcaire à entroques		
Grès et calcaires à Am-Bifrons	10	
Minerai de Saint-Priest, Ferrières, etc.		
Calcaire à gryphées arquées	50	Lias.
Infralias	30	

Grès et marnes	150	Trias.
Étage marneux / *Minerai de Merzelet*	30	
Grès inférieurs	50	

Composition des minerais :

	Merzelet.	La Voulte.		Privas.		Saint-Priest (moyenne).	
Silice	8,925	13,45	24,06	16,6	14,3	16,5	9,5
Alumine	17,393	5,70	8,32	3,6	4,1	5,5	3,5
Baryte	1,450	»	»	»	»	»	»
Chaux	4,950	1,60	11,27	5,2	7,0	20,5	22,2
Oxyde de fer	52,042	72,3	13,64	67,5	65,0	29,7	38,5
Perte au feu	13,60	5,70	»	6,3	9,9	25,5	26,8
Magnésie	»	»	1,59	»	»	»	»

Teneur en fer des minerais de Merzelet.. . 30 pour 100.
— de la Voulte . . 27 à 48 pour 100.
— de Privas. . . . 42 à 49 pour 100.
— de Saint-Priest. 15 à 26 pour 100.

Hauts fourneaux actifs en 1835. . . . 3
— 1869. . . . 10

Minerais extraits en 1835. . . . 27,135 tonnes.
— 1856. . . . 186,982
— 1864. . . . 232,338
— 1869. . . . 260,213

Gard.

Beaucoup de minerais de fer y ont été longtemps et sont encore aujourd'hui extraits, à la tête de filons pyriteux qui se trouvent entre le lias et l'oolite inférieure, comme à *Saint-Julien*. A *Trèpeloup*, au *Vallat-Pellet*, à *Panissières*, à *Saint-Paul-Lacoste*, au *Mas-Dieu ;* ils forment des poches irrégulières dans les fissures des dolomies infraliasiques.

Minerais triasiques à *Bordezac,* au *Travers* et à *Saint-Florent*. Ils forment deux couches dont la supérieure, la seule exploitée, atteint 3 mètres au Travers, $2^m,25$ à Bordezac, 0,50 à 1 mètre à Saint-Florent. La mine du Travers est noyée depuis longtemps.

Minerai oxfordien à *Pierre-Morte*. Ce gîte, formé de peroxyde de fer rouge terreux correspondant à celui de la Voulte, a été exploité pendant quelque temps, mais il paraît épuisé aujourd'hui.

Minerai houiller. — On rencontre le fer carbonaté lithoïde, en rognons au milieu des schistes inférieurs à la couche de *Champclauson*, et surtout en couches, à *Palmesalade* où il a été exploité depuis les temps les plus anciens.

Ce dernier gisement, situé à la partie inférieure du terrain houiller de

Portes, se compose de plusieurs bancs de minerai intercalés dans les schistes, et ayant ensemble une puissance d'environ 7 mètres[1].

Enfin, aux environs de *Ganges* et de *Saint-Laurent-le-Minier*, on voit encore les vestiges d'anciennes exploitations sur des gîtes de fers oxydés, qui paraissent se relier à des filons de pyrite de fer, ou d'autres substances.

Composition des minerais :

	Saint-Julien.	Panissières.	Palmesalade. Grillé.	Travers. Moyenne.	Pierre-Morte.	Ganges.
Oxyde de fer.	52,00	80,00	76,75	46,55	45,35	74,95
Silice.	33,25	13,00	9,85	7,70	18,15	4,60
Alumine.	1,50	1,60	8,97	5,55	8,10	2,20
Chaux.	0,95	2,20	2,35	13,40	11,60	3,65
Soufre.	1,42	0,14	»	»	0,02	0,20
Perte au feu.	10,50	2,00	1,70	25,75	17,20	15,50
Oxyde de manganèse	»	»	»	traces.	»	»
Sulfate de baryte. . .	»	»	»	traces.	»	»

Hauts fourneaux actifs en	1835. . . .	1
—	1869. . . .	5

Minerais extraits en	1835. . . .	0 tonnes.
—	1856. . . .	72,281
—	1864. . . .	88,246
—	1869. . . .	38,355

Aveyron.

Dans ce département, les minerais de fer se trouvent en couches puissantes et régulières, en filons ou en amas[2] :

En amas, à l'état de limonite ou de fer en grains, dans les anfractuosités des calcaires inférieurs, comme dans le Tarn-et-Garonne;

En couche étendue de 2 à 4 mètres de puissance, dans l'oolite inférieure à *Cadayrac*, *Mondalazac*, *Solsac*, etc., d'une richesse considérable.

A la partie inférieure du calcaire à entroques, aux environs de *Veuzac*, *Saint-Igest*, *Montbazens*, etc., représentant, d'après M. Boisse, les minerais de la Moselle et du Luxembourg.

En couches, dans l'infralias, à l'état de grès ferrugineux près de *Lunel*, de *Tensou*, de *Goutrens*, d'*Espalion*, et de *Rodez*.

Dans le terrain houiller d'Aubin, à *Tramont* et à *Combes*, en couches de 3 mètres, 2^{m},50 et 2 mètres d'épaisseur. Ce minerai fournit de 37 à 40 pour 100 de fonte;

Enfin, dans deux filons, à *Kaymar* et à *Monjarac*, dont l'un, celui de

1. *Annales des Mines*, t. XIV, Callon.
2. *Géologie de l'Aveyron*. Boisse, 1872.

Kaymar, commune de Prunes, de 4 à 5 mètres de puissance, présente des bandes de quartz, de spath fluor et de minerai d'hématite brune manganésifère dont l'épaisseur atteint quelquefois 2 mètres. L'irrégularité de ce gisement en a fait suspendre l'exploitation, et les extractions sont faites sur les mines en couches et particulièrement à *Mondalazac*, etc.

Composition des minerais :

	Mondalazac.	Lunel.	Kaymar.	Trampont.
Peroxyde de fer	37,50	55 à 60	60,00	66,00
Silice	10,10	35 à 40	12,00	20,00
Alumine	11,40	2,00	2,00	6,00
Chaux	13,20			3,50
Magnésie	2,60			
Perte au feu	24,40	»	»	»
Eau et matières volatiles	»	2	10,00	3,50
Oxyde de manganèse	»	»	10,00	»
Spath fluor et perte	»	»	6,00	»
Soufre	»	»	»	1,00

Hauts fourneaux actifs en 1835. . . . 7
— 1869. . . . 6

Minerais extraits en 1835. . . . 25,662 tonnes.
— 1856. . . . 135,982
— 1864. . . . 82,747
— 1869. . . . 59,975

Tarn.

Ce département renferme de nombreux gisements, se présentant sous forme de filons plus ou moins puissants insérés dans les micaschistes ou dans les terrains de transition. Leurs crêtes ont été, dans les temps anciens, l'objet de nombreux travaux pour l'extraction du minerai de fer, mais les essais faits dans le siècle actuel, sur plusieurs points, n'ont fourni que des minerais donnant de mauvais fer[1]. Quelle en est la cause? disait alors M. de Boucheporn ; on la retrouve, je crois, dans ces paroles de de Genssane[2] : « Les veines de cuivre sont ordinairement recouvertes de mines de fer. » Tels paraissent pouvoir être certains gisements qu'on rencontre dans les montagnes dominant le Dadou, ou ceux des environs de Lacaune, *Saint-Pierre-de-Trévizy*, *Saint-Paul-de-Barbatogne*, etc., qui tous sont signalés par des scories et les traces d'anciens travaux. Dans tous les cas, on est en droit de croire que divers affleurements ferrugineux n'y sont que la tête de filons qui, dans la profondeur, donneront

1. *Carte géologique du Tarn*, de Boucheporn.
2. *Histoire naturelle du Languedoc.*

des pyrites de fer, mais particulièrement d'autres métaux. La difficulté des transports a occasionné et occasionne encore aujourd'hui de grandes difficultés pour leur exploitation.

On les trouve dans toute la partie montagneuse du département, dans la *Montagne-Noire*, aux environs d'*Alban* et d'*Ambialet*, à *Moncouyoul*, à *Plagne*, au village de *Pomardel*, dans les environs de *Massats*, au *rocher de Saint-Michel*, etc.

Les filons des environs d'*Alban* et d'*Ambialet* ont beaucoup d'analogie avec le filon de Kaymar dans l'Aveyron. Ils sont puissants et renferment du manganèse en proportion plus ou moins considérable. Quelquefois le manganèse domine et donne lieu, comme à *Alban* et à *Prunié*, à des exploitations de ce dernier minerai. Le minerai de fer s'y trouve à l'état d'hématite rouge ou concrétionné; mais, à *Courris*, il est à l'état de carbonate de fer pur ou décomposé et passé à l'état d'hématite.

Composition du minerai :

	Filon du Fraysse.
Peroxyde de fer et manganèse.	66,60
Alumine.	5,00
Silice.	19,50
Perte.	8,90

Forges catalanes en	1835.	2
—	1869.	0
Minerais extraits en	1835.	620 tonnes.
—	1856.	0
—	1864.	0
—	1869.	3,755

Hérault.

Ce département, connu depuis des siècles comme possédant des gîtes importants métallifères, de cuivre, de plomb argentifère et houillers, n'a donné lieu, depuis longtemps, à aucune extraction de minerai de fer de quelque importance. Cependant ces minerais y existent, soit qu'ils appartiennent à la tête de gisements d'autres métaux, soit qu'ils représentent des couches analogues à celles que nous avons vues, sur tant de points de la France, dans les formations secondaires.

En 1864[1], M. Munier a découvert dans la montagne de la Gardéole, près Frontignan, des gisements dans la formation oxfordienne, en couches de 0,80 à 1 mètre d'épaisseur, et renfermant des minerais d'hématite brune, avec variétés agathisées, mamelonnées et résinoïdes, dans une gangue de chaux carbonatée.

1. *Mémoire sur l'importance et l'avenir des gisements de la Gardéole*, par Munier.

Leur teneur moyenne est de 55 pour 100 de fer et ils peuvent produire des fers de bonne qualité.

D'après M. Munier, ces gisements sont susceptibles de donner lieu à une grande production.

Dans la vallée de Lamalou, on connaît une couche d'hématite rouge, de 1 mètre d'épaisseur, située à la base du trias.

Enfin, dans l'arrondissement de Béziers et dans le terrain de transition existent au contact des calcaires dolomitiques, de nombreux gisements d'hématite brune manganésifère qui paraissent avoir une grande puissance.

Minerais extraits en	1835.	453 tonnes.
—	1856.	0
—	1864.	74
—	1869.	0

Vaucluse. — Basses-Alpes.

Les minerais de fer s'y trouvent dans les cavités du calcaire néocomien[1] et à la partie supérieure des sables argilo-tertiaires.

D'après l'opinion de M. Gras, ces gisements paraissent devoir être rapportés à l'étage sidérolithique que les études récentes de M. Levallois ont remis à sa véritable place, dans les terrains tertiaires.

Les gîtes insérés dans les cavités néocomiennes se trouvent dans les communes de *Lagnes*, *Saumanes*, *Gordes*, *Saint-Saturnin*, et en général sur tout le contour du massif qui constitue le néocomien supérieur, depuis la fontaine de Vaucluse jusqu'au delà de Simiane (Basses-Alpes). Ils sont très-irréguliers.

Les sables argilo-siliceux renferment de véritables minerais de fer à l'état d'hématite, surtout abondants aux environs de *Rustrel*. On en trouve aussi sur les communes de *Gargas*, de *Roussillon*, à *Monmoiron*, à *Malaucène* et à *Bollène*.

A *Rustrel*, le minerai constitue des amas très-considérables qui atteignent plus de 6 mètres de puissance au quartier de *Notre-Dame-des-Anges*, 1 mètre à 1^{m},50 à *Bariès*.

Ces minerais ont été exploités dans des temps très-reculés, et on trouve des scories de forge disséminées sur le sol en beaucoup de points et notamment au lieu dit *la Ferrière*, commune de *Gignac*.

Composition du minerai :

	Gordes.	Saumanes.
Eau.	0,044	0,088
Carbonate de chaux. . . .	0,156	0,400
Peroxyde de fer.	0,645	0,486
Sable et argile.	0,155	0,026
Quartz.	»	»

1. *Description géologique de Vaucluse*, par Scipion Gras, 1862.

	Vaucluse.	Basses-Alpes.
Hauts fourneaux actifs en 1835. . .	1	0
— 1869. . .	0	0
Minerais extraits en 1835. . .	500t	0
— 1869. . .	0	0

Var[1].

Le minerai de fer présente dans ce département des variétés nombreuses :

En nids et en masses globulaires dans le terrain houiller;

En rognons dans le terrain permien ou le zechstein;

En grains dans le calcaire du Jura moyen;

En grains et rognons dans les argiles tertiaires;

En filons réguliers à l'état de carbonate altéré, de fer oxydulé ou de grenatite, comme à Bagna et Vaubarnier.

Des explorations récentes, faites dans ces dernières localités, ont rencontré plusieurs gisements de cette dernière substance ayant une épaisseur exploitable de 4 mètres.

On peut retrouver l'indication des gisements ferrugineux dans les travaux de M. Panescorse.

Le fer oxydulé, en filons de 1 mètre à 4 mètres, à *Réganéou*, *Moulière*, dans la forêt des Arcs; à *Coucourelle*, forêt de *Vidauban*; à *Rascas*; *Mayons-du-Luc*, à *Bagna*; *Vaubarnier*; etc.; commune de *Collobrières*; ou sur le territoire de *Bormes*, paraît être le principal gisement susceptible de permettre une exploitation utile et prolongée.

Le fer carbonaté associé au terrain houiller se montre à *Six-Fours*, à *Saint-Nazaire*, *Laval*, *Asséréto*; etc.

Ces mines diverses sont aujourd'hui l'objet de recherches et de demandes de concession.

Fer oxydé en grains à *Belgontier*, *Néoules*, *Meounes*, à *la Sainte-Beaume*, dans des calcaires gris; à *la Bégude*, près *Valbonne*; etc.

Alpes-Maritimes.

Le fer y a été l'objet d'exploitations d'une certaine importance dans des temps reculés. Dans la commune de *Valdeblore* et dans la montagne de *Mille-Fonte*, le gneiss est coupé par un grand nombre de veines de fer oligiste, et auprès d'eux on trouve de nombreux tas de scories et des restes de fourneaux catalans indiquant une exploitation prolongée[2].

1. *Géologie du département du Var*, par de Villeneuve. — *Histoire naturelle du Var*, par Panescorse.

2. *Essai sur la statistique minéralogique du comté de Nice*, par Dépine, 1822.

Les minerais de fer existent encore dans plusieurs points et dans une abondance que nous ne pouvons définir, à l'état de fer oxydulé[1], dans les granites et gneiss de la vallée de *Boréon*, près *Saint-Martin-de-Lantosque*, et dans les calcaires triasiques de *Rimplas*, sur la Tinée.

Ces richesses minérales, constatées par les anciennes exploitations, sont restées jusqu'à ce jour dans un état presque absolu d'abandon par suite de la difficulté des transports et du mauvais état des voies de communication.

PYRÉNÉES ET CORBIÈRES.

Aude. — Les minerais de fer y ont été exploités depuis les temps les plus reculés. Délaissés par suite de la difficulté des transports et de l'abaissement des prix résultant de la fabrication des fers à la houille, ils ont été recherchés avec une grande activité dans ces dernières années à cause de leur qualité spéciale et de leur teneur en manganèse.

Ils consistent en hématites brunes manganésifères, et en fers spathiques qui se trouvent dans de nombreux filons généralement encaissés dans les terrains de transition et courant dans la direction N. S.

La puissance de ces filons est très-variable, et presque tous ont été l'objet de travaux anciens dont quelques-uns, comme ceux de la *Caune de Causse*, aux environs de Davejean, ou ceux de la *Caunette*, sont parvenus à des profondeurs de plus de 100 mètres.

Ces gisements se trouvent dans la montagne Noire, entre Carcassonne et Saint-Amans (Tarn); aux environs de *Salsigne*, dans les terrains de transition développés entre Cascastel et Davejean (*la Caune, Sarremijane, Faliéra, Fourques, Cascastel*, etc.); dans les montagnes qui dominent le pays d'*Arques* (la Ferronnière). Les environs de Quillan alimentaient aussi, dans le siècle dernier, un certain nombre de forges. Le chemin de fer de Limoux devant pénétrer dans ces montagnes, il est probable qu'on parviendra à redonner à ces mines leur ancienne activité.

Enfin on rencontre encore des amas irréguliers intercalés dans les couches d'un calcaire cristallin, blanc et rosé, imprégné de fer carbonaté auprès de *Treilhes*, *Leucate* et *Fitou*, ou dans des calcaires d'apparence jurassique près de *Comus* et de *Cannerac*.

La mine de *Sarremijane*, où les anciens sont descendus à 160 mètres de profondeur, fournissait 500 tonnes d'excellent minerai par mois en 1873. A peu près partout, encore aujourd'hui, les transports sont coûteux et difficiles.

Cette contrée paraît devoir conquérir une très-grande importance, non-seulement au point de vue du fer, mais encore comme producteur d'autres métaux, et il est à désirer que les voies de communication y soient partout promptement améliorées.

1. Gény. *Note inédite.*

Les cartes de Cassini ou l'*Histoire du Languedoc* par de Genssane donnent les indications de beaucoup de forges et de gîtes.

Forges catalanes en	1835.	15
—	1869.	»
Minerais extraits en	1835.	1,012 tonnes.
—	1856.	675
—	1864.	»
—	1869.	5,274

Pyrénées-Orientales. — Les exploitations immémoriales et continues des minerais de fer dans ces contrées sont groupées autour et à la base du massif granitique du Canigou et particulièrement à l'ouest aux environs de Prades, à l'est dans le groupe de *Batère*, *Ballestavy* et *Valmanya*.

En 1873, on y comptait 27 concessions occupant une superficie de près de 10,000 hectares dont la plus ancienne et l'une des plus étendues, celle de Fillols, remonte à l'an XIII.

Les gisements exploités se présentent en filons, en couches et en amas dans des calcaires saccharoïdes et des schistes argileux reposant sur les granites et appartenant aux terrains de transition inférieurs.

Aux environs de Prades, ils suivent une ligne dirigée à peu près E. O., d'une longueur de plus de 15 kilomètres, et passant d'*Escoumps* à *Escaro*, *Thorrent*, *Sahorre*, *Vernet* et *Fillols*.

La puissance moyenne de cette bande ferrifère est d'environ 20 mètres; elle est considérable à *Las Indis*, dans le groupe de *Batère*. Quelques-uns de ces gisements, comme celui de *Puymaurens*, se trouvent à plus de 2,000 mètres au-dessus du niveau de la mer et ne sont exploitables que pendant six mois de l'année. D'autres, comme celui d'*Escoumps*, sont encore aujourd'hui très-éloignés des routes carrossables.

Les minerais consistent en fer oligiste, fer carbonaté décomposé et fer oxydulé. Ils sont tous manganésifères.

Composition du minerai.

	Fillols.		Ballestavy.	
Perte au feu.	14,00	13,00	15,50	25,00
Silice et argile.	22,00	10,00	3,50	3,55
Oxyde de fer.	57,15	72,00	74,75	65,70
Oxyde de manganèse.	2,35	4,25	3,15	3,15
Alumine.	1,00	0,40	»	»
Chaux..	3,40	traces.	1,90	1,55
Soufre.	»	»	1,10	1,00
Fer pour 100.	40,00	50,00	52,55	46,00
Manganèse.	1,50	2,70	2,00	2,00

	Fer hydroxydé.	Fer spathique décomposé.	Fer spathique.	Fer oxydulé.
Perte au feu.	16,26	11,05	31,52	6,60
Argile et quartz.	0,20	4,25	2,85	2,90
Chaux et magnésie.	11,54	10,00	1,37	0,50
Protoxyde de manganèse. . .	0,50	6,15	3,82	3,50
Peroxyde de fer.	71,40	67,50	59,30	86,50
Alumine.	0,10	1,05	1,14	»

Hauts fourneaux en	1835.	»
—	1869.	3
Forges catalanes en	1835.	18
—	1869.	9
Minerais extraits en	1835.	6,512 tonnes.
—	1856.	8,952
—	1864.	23,138
—	1869.	25,512

Ariége. — Un grand nombre de gisements de minerai de fer existent dans ce département où ils ont donné lieu à des exploitations séculaires. Ils ont été pour la plupart indiqués dans le texte de la carte géologique de l'Ariége de M. de Mussy. Parmi tous ces gisements celui des environs de Vicdessos ou de Rancié a été jusqu'ici le plus important.

Son exploitation, qui remonte au douzième siècle, fut poursuivie sans discontinuité, et avec plus ou moins d'activité depuis cette époque jusqu'à présent.

La montagne de Rancié est à 1,600 mètres au-dessus de la mer, 900 au-dessus de Vicdessos, 600 au-dessus du village de Sem. Sur toute cette hauteur de 600 mètres, sont réparties le long du versant oriental de la montagne les entrées des diverses mines anciennes ou récentes.

Elles sont comprises dans une zone presque dirigée de l'est à l'ouest. Ce gîte est enclavé dans des calcaires que M. de Mussy rapporte au lias, mais que M. Garrigou, membre de la Société géologique de France, place sous le calcaire carbonifère dans la partie supérieure du terrain dévonien.

Le minerai y est en amas ou en colonnes puissantes, dont quelques-unes sont reconnues sur des hauteurs de 600 à 700 mètres dans le sens de l'inclinaison, et avec une épaisseur variant de 3^{m},80 à 20 et 25 mètres.

M. de Mussy estime à 1,093,070 mètres cubes le vide fait par les travaux, et à plus de quatre millions de tonnes le minerai enlevé jusqu'à présent. Néanmoins la puissance de ce gîte, sa vaste étendue, montre qu'il possède encore pour l'avenir de très-grandes ressources.

Les minerais qu'on y exploite sont :

Hématite brune compacte ou cristalline, constituant la masse principale du gîte.

Fer oxydulé lamellaire, en petites veinules, aux extrémités de l'amas, dans le calcaire encaissant, dans les salbandes.

Hématite rouge, sans importance.

Fer oxydé à grains d'acier, ayant quelquefois, mais rarement, 1 à 2 mètres de puissance. Rarement en masses exploitables.

Fer oxydé hydraté : c'est le principal minerai de Rancié. Il a l'apparence d'une roche.

Fer hydraté concrétionné, hématite brune, riche en manganèse, elle entre pour 1/4 ou 1/5 dans la totalité de l'exploitation.

Fer hydraté (Mine Noire) : provient de la décomposition des fers spathiques et de l'hydratation des produits de cette décomposition. Riche en manganèse et est très-recherché. Il forme à Rancié des amas d'une certaine étendue qui, à certaines époques, ont été l'objet d'exploitations.

Fer oxydé hydraté terreux : il forme une partie notable de la masse à tous les niveaux et sur tous les points.

Fer oxydé hydraté terreux : cette variété, mélangée d'argile, forme les salbandes.

Fer carbonaté : blond, jaunâtre, nacré, mélangé de quartz et quelquefois de pyrites, paraît former la base du gîte en profondeur, c'est-à-dire qu'il semble être le minerai normal qui, sous l'influence des agents extérieurs, sous l'action dissolvante des eaux, s'est transformé en minerais d'autant plus décomposés qu'ils se rapprochent davantage de la surface.

C'est sur le prolongement de ce puissant gisement que se sont placées les exploitations nouvelles créées depuis que les minerais manganésifères sont si recherchés.

Parmi les autres gisements connus, nous citerons ceux des environs d'*Ax*, *de Saurat* dans le granite, de *Rabat*, de *Rivernert*, *Lassur*, *Albiès*, *Celles*, *Montferrier*, *Montségur* dans le silurien, d'*Alzein* dans le dévonien, de *Ferrières*, *Arnaves*, filons dans le micaschiste, et de la *Bastide-de-Séron* dans le grès bigarré.

Teneur moyenne des minerais de Rancié en fer, 50,7 pour 100.

Oxyde de manganèse	4,4
Eau	10,6
Chaux	1,3

Hauts fourneaux en	1835	»
—	1869	2
Forges catalanes en	1835	47
—	1869	12
Minerais extraits en	1835	22,255 tonnes.
—	1856	23,203
—	1864	11,252
—	1869	33,934

Basses-Pyrénées. — Dans cette contrée, comme dans celles que nous venons d'examiner, on rencontre encore les traces d'anciens travaux assez étendus et des gisements qui, pendant longtemps, ont alimenté des forges catalanes. En 1786 Dietrich comptait 19 mines exploitables ou exploitées dans la basse Navarre, 10 dans le Béarn.

Les minerais y consistent généralement en fers oxydés et carbonatés, appartenant le plus souvent à des filons enclavés dans les terrains de transition.

Les principaux gisements ont été ainsi définis par M. l'ingénieur des mines Genreau :

Mine de *Baburet*, au-dessus du village de *Ferrières*, dans la vallée du Louzom. — Amas d'hématite brune avec quelques parties de fer carbonaté. Gîte subordonné à l'ophite qui se montre dans son voisinage immédiat et dans des terrains schisteux et calcaires que M. Genreau considère comme dévoniens.

Cet amas considérable n'a pas encore été reconnu dans toute son étendue. Cette mine, autrefois exploitée pour les forges de la vallée d'Assou, est aujourd'hui inexploitée (1874), donne 56 pour 100 de fonte.

Mine d'*Ahargo*, commune de *Moutory*. — Filon de fer oligiste également subordonné à l'ophite et encaissé dans les roches calcaires du terrain jurassique inférieur, probablement dans le lias. Donne par voie sèche 61 pour 100 de fonte.

Puissance : 0, 40. Inexploité (1874).

Mine d'*Etchebar*, commune d'*Etchebar*. — Même gisement que celui d'Ahargo.

Puissance : 0,20 à 1 mètre. Inexploité (1874).

Mine de la *Bayonnette*, commune d'*Urrugue*. — Deux filons parallèles d'hématite brune dans les schistes dévoniens, à proximité des terrains granitiques.

Puissance variable de 1 mètre à 1,50. L'hématite est mélangée de fer spathique. Richesse, 44 à 50 pour 100. Inactive depuis plusieurs années.

Mine d'*Ainhoa*, commune d'*Ainhoa*. — Délaissée depuis longues années, elle a été reprise en 1873. Un filon de fer carbonaté avec épontes, au mur et au toit, d'hématite brune de 0,50 environ d'épaisseur. Semble très-régulier. Encaissé dans les schistes dévoniens. Renferme des mouches nombreuses de pyrite de cuivre qui font supposer qu'il a été autrefois exploité pour cuivre, les anciens travaux étant entièrement remblayés avec des blocs de fer carbonaté.

Mine d'*Ustelleguy*, près de *Bidarray*. — Superbe filon de fer carbonaté spathique pur, sans pyrites. Très-régulier dans son allure. *Puissance* variable de 1 à 6 mètres. N'a été que faiblement attaqué dans sa partie

supérieure où il affleure dans le terrain de grès rouge triasique qui recouvre les schistes et quartzites de transition, formant le massif de la montagne, de telle sorte que ce filon paraît exister à la fois dans les deux terrains. Minerai excellent pour la fabrication du fer. Inexploité par suite de son éloignement et de l'absence de bonnes voies de communication.

M. Genreau signale encore la mine de fer oligiste pulvérulent d'Égouzé, près Mendive, jadis concédée et à laquelle on a renoncé. Filon subordonné à l'ophite, au contact des terrains de trias et jurassique.

Ce minerai rendait 41,4 de fonte et contenait 30 pour 100 de silice.

Hauts fourneaux actifs en	1835.	2
—	1869.	1
Forges catalanes en	1835.	10
—	1869.	»
Minerais extraits en	1835.	3,647 tonnes.
—	1856.	8,488
—	1864.	2,420
—	1869.	»

Les hauts fourneaux dans les années qui précédèrent 1869 y étaient alimentés par des minerais du département et des minerais étrangers particulièrement espagnols.

Quelque rapide qu'ait été l'énumération que nous venons de faire, nous en avons assez dit pour montrer :

Que la France possède, en un grand nombre de points de son territoire, des ressources considérables en minerais de fer.

Que les exploitations sur les mines de fer en couches ont acquis un très-grand développement, mais qu'il existe beaucoup de gisements situés dans les montagnes, et notamment dans la montagne Noire, dans les Corbières et dans les Pyrénées, possédant les qualités de minerai de fer les plus recherchées aujourd'hui, qui attendent l'amélioration des moyens de transport pour être utilisés comme ils doivent l'être et pour enrichir ceux déjà si abondants des formations secondaire et tertiaire.

VII

Combustibles.

PRODUCTION DE LA FRANCE. — La France possède les diverses qualités générales de combustibles minéraux, savoir : tourbes, lignites, houilles, anthracites et plombagine ou graphite.

Ce dernier ne s'y trouve qu'en quantité très-minime; mais, si la véritable richesse de notre sol consiste particulièrement dans les houilles et les anthracites, il n'est pas moins vrai qu'on y trouve aussi, abondamment, les tourbes et les lignites.

Nous aurons une idée de l'importance relative de chacune de ces qualités, et de l'importance de l'industrie houillère, par le tableau suivant où nous voyons la valeur totale des combustibles extraits en 1869, valeur qui serait sensiblement plus grande si nous pouvions la rapporter à l'époque actuelle (1873) :

Tourbes.	328,264t	3,352,749f
Lignites et houille triasique.	323,722	3,312,673
Houille maigre à longue flamme. . .	2,416,933	26,057,752
Houille grasse à longue flamme. . .	6,689,343	78,325,935
Houille maréchale.	241,434	2,966,989
Houille à courte flamme.	2,854,108	35,044,116
Anthracites..	938,663	10,780,025
	13,792,467	159,840,239
Déduction du Bas-Rhin et de la Moselle.	246,534	2,862,745
Production totale..	13,545,933	156,977,494
Plombagine (1868).	20	950

Plus de cent mille personnes ont été occupées à l'extraction de ces

combustibles divers, et le salaire de ces ouvriers s'est élevé à bien près de 50 pour 100 de leur valeur totale; c'est ce que nous montrent les chiffres suivants :

	Ouvriers.	Salaires.	Par ouvrier.
Tourbières.	28,179	1,813,780f	
Autres mines.	84,494	71,078,934	841f
	112,673	72,892,714	

L'importance des chiffres précédents ressortira d'une manière bien évidente quand nous rappellerons qu'en 1835 la valeur totale des combustibles extraits ne s'élevait qu'à 25,153,260 francs.

DISTINCTION GÉOLOGIQUE DES COMBUSTIBLES. — Considérés au point de vue géologique, les combustibles de la France sont généralement classés de la manière suivante :

Tourbes. — Formations actuelles. Terrains quaternaires.
Lignites. — Terrains tertiaires supérieurs. Savoie, etc.
— — moyens. Isère, Basses-Alpes, etc.
— — inférieurs ou craie supérieure. Bouches-du-Rhône, etc.
— Craie supérieure. Var.
— Grès verts. Gard, Vaucluse, etc.
Houilles. — Jurassiques de divers étages. Savoie, Aveyron.
— Triasiques. Vosges, Haute-Saône.
— Terrain houiller. Les nombreux dépôts connus en France appartiennent à plusieurs époques de la formation houillère. Quelques-uns représentent sa partie supérieure, tandis que d'autres font essentiellement partie des étages moyens ou des plus profonds.
Anthracite. — Terrain houiller inférieur. Carbonifère. Loire, etc.
— Terrain dévonien. Mayenne.

ORIGINE DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX. — La classification précédente semble indiquer un passage pour ainsi dire continu de l'anthracite, qui se trouve dans les couches les plus profondes, jusqu'à la tourbe qu'on voit à la surface du sol, et elle semble faire croire que ces variétés de combustible ont ainsi, vis-à-vis les unes des autres, des positions relatives spéciales.

Il n'en est pas ainsi dans la nature. Ce passage existe réellement, ainsi que nous le verrons plus bas, quand on attache au sens de chaque mot : lignite, houille, anthracite, celui qui se rapporte à la composition chimique, mais, géologiquement parlant, il n'est plus aussi clair parce qu'on rencontre, comme en Russie, des combustibles houillers ayant

l'apparence de lignites, dans les Alpes l'anthracite dans l'étage houiller, et en Toscane de la houille dans les terrains tertiaires.

Au point de vue chimique, le passage des diverses natures de combustibles les unes aux autres est constaté par le tableau suivant:

Analyses de Regnault, le carbone étant ramené à 100 :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Densité.
Anthracites.	100	2,6	2,6	1,46
Houille anthraciteuse.	100	4,6	4,0	1,34
Houille maigre, dure à courte flamme.	100	5,3	5,7	1,32
Houille demi-grasse.	100	5,7	9,1	1,30
Houille à gaz.	100	6,7	10,9	1,30
Houille grasse.	100	6,3	11,3	1,28
Houille maigre à longue flamme. . .	100	6,7	21,4	1,25
Lignite parfait.	100	6,7	28,3	1,20
Lignite ligneux.	100	8,0	53,0	1,00
Tourbe.	100	9,85	55,67	0,70

Les liens généraux qui rattachent ensemble les diverses qualités de combustibles se montrent encore dans leur aspect physique.

Ainsi, la tourbe n'est souvent qu'un amas enchevêtré de plantes, et ailleurs, dans les tourbières les plus anciennes, elle offre l'aspect de masses terreuses noirâtres et compactes, résultant de la décomposition de ces plantes sous l'influence d'une action longtemps prolongée, et ayant les plus grands rapports avec certains lignites que l'on rencontre dans les terrains tertiaires.

Ceux-ci, qui déjà ressemblent quelquefois aux tourbes, se présentent encore sous forme d'arbres accumulés, enfouis sous le sol, dont on peut distinguer l'essence, mais ailleurs ils ont l'aspect de charbons noirs brillants, ayant toute l'apparence de la houille.

La composition de ces lignites, comme leur nature, paraît donc former un anneau de la chaîne qui réunit ensemble les tourbes et les houilles. Enfin, ces dernières et les anthracites sont reliés par leur aspect et par leur disposition quelquefois enchevêtrée au milieu des terrains qui les renferment.

Considérés maintenant au point de vue de l'origine qu'on peut leur attribuer, il est permis de croire que tous ces divers dépôts, existant dans les terrains dévonien, carbonifère, houiller, jurassique, crétacé, tertiaire et quaternaire, de composition et d'aspect différents, ont été formés par les mêmes procédés et par les mêmes moyens.

Cette observation, qui semble vraie, n'implique pourtant pas l'idée d'un procédé unique, et ce qui se passe sous nos yeux à la surface du globe tend à faire croire que la nature a employé divers moyens concourant vers un même but.

Ainsi, les tourbières nous montrent des accumulations de végétaux

naissant et mourant sur place, accroissant de leurs débris l'épaisseur de la couche sur laquelle ils vivent, et formant de nos jours, sur les rivages de la mer, dans le fond des vallées ou sur les plateaux des montagnes, des dépôts étendus d'une certaine nature de combustible, possédant un caractère littoral ou lacustre.

Nous trouvons, ailleurs, d'immenses forêts sous-marines résultant de l'affaissement du sol, que recouvrent de plus en plus les atterrissements de la mer; d'énormes quantités de bois sont entraînées chaque année par les grands fleuves, comme en Amérique : ces bois vont former quelque part d'immenses dépôts qui s'étendent constamment et s'enfouissent au sein des limons qui les accompagnent, ou déjà déposés.

Enfin, nous voyons les mers de sargasse, immenses espaces dont le fond reçoit, depuis des temps infinis, l'accumulation d'algues ou de plantes marines, et de tous ces débris qu'entraînent vers elles les puissants courants de l'Océan.

Ces faits divers, auxquels vient peut-être s'ajouter un mode de concentration inconnu du carbone de l'espace, forment les combustibles de l'avenir, et ils correspondent sans doute aux moyens divers dont s'est servie la nature, dans tous les temps, pour produire ceux de ces dépôts anciens que nous connaissons et que nous exploitons aujourd'hui.

Nous concevons, en effet, que si ces dépôts, quelle que soit leur origine, amas de tourbes, bois accumulés sous l'influence des courants, forêts enfouies ou plantes marines déposées au fond des mers de sargasse, viennent à être recouverts par des sédiments divers : si ces sédiments s'accumulent au-dessus d'eux dans la longueur, pour ainsi dire infinie, des temps géologiques, ils subiront les effets de pressions d'autant plus puissantes que ces sédiments seront eux-mêmes plus puissants, et chacun d'eux sera soumis à ces décompositions lentes dont les gaz qui s'échappent aujourd'hui sur une multitude de points de la surface du globe nous révèlent l'existence souterraine, et à des transports moléculaires dont la pétrification des fossiles, ou les silex agglomérés au sein de la craie, etc., nous donnent la preuve.

Nous comprendrons, enfin, que les bois, les plantes marines, les algues et les tourbes, sous l'influence de ces actions diverses, pourront, avec le temps, acquérir une densité plus grande, perdre, pour un même poids de carbone, des quantités diverses d'hydrogène et d'oxygène, et présenter toutes les variétés de combustible indiquées dans les analyses précédentes. Enfin celles d'entre elles qui auront été soumises aux actions les plus prolongées et les plus puissantes se rapprocheront davantage de la nature des anthracites qui renferment le plus de carbone et le moins de matières volatiles.

Si maintenant nous réfléchissons sur les modifications qui s'opèrent constamment dans les formes des continents, ou dans les niveaux du sol, modifications que nous voyons s'opérer sous nos yeux, soit par le trans-

port des matériaux détritiques qui remplissent les profondes vallées, ou par les affaissements ou les soulèvements lents sur des espaces plus ou moins étendus, nous concevrons que les actions qui accumulent les végétaux, sous quelque forme de dépôt que ce soit, peuvent être suspendues ou déplacées : chacun de ces dépôts pourra alors être réellement recouvert par les sédiments dont nous parlions tout à l'heure, plus ou moins fins, suivant que les eaux qui les apportent seront elles-mêmes plus ou moins tranquilles ou plus ou moins tumultueuses, ou par des précipités chimiques, jusqu'à ce que de nouvelles circonstances, suspendant ou déplaçant ces nouvelles actions, favorisent la formation de nouvelles tourbières ou de nouveaux amas au-dessus des précédents.

Ces mêmes phénomènes, se répétant ou se reproduisant dans une longue série de siècles, pourront produire ainsi une succession de couches carbonées que recouvriront de plus en plus les amas détritiques résultant de l'érosion des aspérités du sol, ou les dépôts chimiques en voie de formation.

Enfin, toutes ces couches de combustible, formées presque horizontalement dans le fond des vallées, sur les bords de la mer ou dans les profondeurs de l'Océan, seront soumises aux phénomènes généraux qui affectent toutes les couches de l'écorce terrestre. Elles seront d'autant plus modifiées, brisées, plissées, comprimées, redressées, sous l'influence de ces actions lentes qui changent incessamment le relief du globe, qu'elles auront été plus longtemps soumises à ces actions, ou, ce qui revient au même, qu'elles seront plus anciennes. Enfin, les dénudations séculaires enlèveront une partie des terrains qui les auraient cachées entièrement à nos yeux, et ces mêmes dénudations, s'exerçant aussi sur elles, en détruiront de vastes étendues et feront apparaître sous nos pieds des affleurements plus ou moins puissants. Ces affleurements ne seront souvent ainsi que les têtes des parties qui auront échappé à l'action de ces dénudations.

DISTINCTION DES DÉPÔTS DE COMBUSTIBLES ET VARIATION DES QUALITÉS. — D'après ces quelques mots, on peut comprendre combien de causes ont dû modifier la composition des combustibles minéraux et former des variétés nombreuses, suivant des circonstances particulières et locales, suivant la puissance des actions souterraines prolongées qui se sont exercées sur eux; mais la nature des végétaux qui ont concouru à leur origine a dû aussi établir entre eux, comme entre les dépôts eux-mêmes, de notables différences.

Si l'on étudie les conditions climatériques de la surface du globe à diverses époques de son histoire géologique, on remarque qu'elles ont singulièrement varié depuis les temps les plus éloignés jusqu'à nos jours, et que, d'une uniformité générale dans les temps anciens, elles sont par-

venues peu à peu à présenter les différences que nous leur connaissons aujourd'hui, des pôles à l'équateur.

On peut donc naturellement conclure, ce qui résulte de l'observation même des faits, que si, dans les temps les plus reculés et à l'époque houillère, par exemple, la terre pouvait être recouverte d'une flore uniforme, présenter des plantes tropicales au Spitzberg, là où aujourd'hui nous ne trouvons que des glaces, cette flore a été constamment modifiée depuis cette époque, et les dépôts de combustible formés à ses dépens doivent présenter les traces de plantes différentes, suivant leur âge, et des rapports de composition d'autant plus semblables qu'ils sont plus anciens.

Ces divers dépôts pourront donc ainsi être caractérisés par des plantes particulières, suivant l'époque de leur formation, et par des aspects différents.

D'après ces idées et d'après de nombreuses observations, MM. Geinitz Fleck et Hartig[1] ont pu comparer entre eux les bassins houillers de l'Europe, et ils y ont distingué les zones suivantes:

La zone des *lycopodiacées*, comprenant les houilles maigres de la Westphalie, de la Loire-Inférieure et de la Russie centrale;

La zone des *sigillariées* et des *calamites*, embrassant les bassins les plus importants du continent;

La zone des *annulariées*, bassins de la Saxe et de la Bohême.

M. l'ingénieur Grand'Eury[2], après avoir étudié la flore du terrain houiller de Saint-Étienne, y a distingué, depuis les couches les plus profondes jusqu'aux plus élevées, des changements lents et continus qui peuvent servir à caractériser des étages naturels, et il est parvenu à établir les rapports existant entre plusieurs bassins de la France ayant entre eux beaucoup de similitude, mais différant surtout en ce qu'ils n'ont pas été formés dans le même temps.

A l'aide des plantes renfermées dans les couches du terrain, ce savant ingénieur a reconnu que les houillères de Brassac et de Blanzy correspondent aux couches inférieures de Saint-Étienne.

L'étage moyen de Saint-Étienne se retrouve à Bességes (Gard), au Bousquet (Hérault), à Commentry (Allier).

On comprend tout ce qu'il y a de fécond dans ces nouvelles recherches de M. Grand'Eury, et combien de lumière elles sont destinées à projeter sur la connaissance des bassins houillers de la France et de leurs rapports entre eux.

S'il devient donc facile de concevoir, d'une manière générale, quelles ont pu être les causes des différences que l'on remarque dans les divers dépôts de combustible et quelle peut être la nature des caractères qui

1. *Revue de géologie* de Delesse et Lapparent.
2. *Mémoire à l'Académie des sciences*, 1872.

les distinguent, il l'est beaucoup moins d'expliquer dans un grand nombre de cas les variétés que l'on rencontre au milieu d'eux et particulièrement au sein des couches houillères, et dans une même couche de houille.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, ces qualités diverses, connues sous les noms de : houilles grasses, maigres, anthraciteuses, etc., que l'on retrouve quelquefois dans une même couche ou à un même niveau, paraissent dépendre de circonstances particulières; il semble que nous en puissions trouver l'explication dans une expérience faite à Anzin par M. de Marsilly, qui nous montre que les houilles grasses extraites du sol perdent, après plusieurs mois d'exposition à l'air, une partie des qualités précieuses qu'elles possèdent et tendent à devenir des houilles maigres.

Cette expérience nous permet, en effet, de comprendre toute une série de variations dans les qualités, suivant des circonstances tout à fait locales.

Ainsi, une couche traversée par des failles nombreuses, intercalée dans des terrains schisteux et perméables favorisant l'introduction de l'air et de l'eau au milieu d'eux et la facile émission des gaz, pourra posséder des houilles tendant à devenir maigres, particulièrement au voisinage des failles, tandis que ces mêmes houilles, si elles s'étaient trouvées sous un toit solide et imperméable, comme celui de beaucoup de houillères anglaises, et dans un terrain peu tourmenté, auraient conservé la majeure partie de leurs principes volatiles et en même temps ces qualités, que nous considérons comme supérieures eu égard à la manière dont nous les utilisons.

C'est probablement à une cause analogue, beaucoup plus qu'à la chaleur intérieure du globe, que les houilles des Alpes doivent leurs qualités anthraciteuses, et si demain on venait à abandonner les mines d'Aubin, dans l'Aveyron, où des émanations gazeuses et carbonées surgissent constamment du sol; si on ne les reprenait qu'après une longue série de siècles, il est probable qu'on n'y trouverait plus que des houilles entièrement impropres à la fabrication du coke.

On a encore attribué des variations de qualité des houilles au voisinage de roches dites éruptives et particulièrement de certains porphyres. Les idées que l'on avait à cet égard semblent devoir être modifiées dans bien des cas par suite des observations de M. Grüner [1] qui, dans ses études sur les houillères de la Creuse, a montré que les houilles situées auprès des porphyres sont plus grasses que celles qui en sont éloignées.

Enfin, en dehors des faits généraux dont nous venons de parler, qui établissent, au point de vue de la qualité, plusieurs grandes classes de

1. *Description des bassins houillers de la Creuse.*

combustibles, on peut dire qu'il est difficile de délimiter leurs diverses variétés que des circonstances particulières et locales peuvent profondément modifier.

HOUILLES ET ANTHRACITES.

Nous plaçons dans un même ensemble les houilles et les anthracites; car, ainsi que nous aurons occasion de le voir, à l'exception des anthracites de la Mayenne qui appartiennent au terrain dévonien, tous les autres gisements de cette nature, en France, font partie de l'étage compris depuis le calcaire carbonifère et le millstone-grit jusqu'aux couches permiennes et triasiques.

Ces deux substances sont la véritable richesse combustible minérale de notre pays. Elles y ont été connues et exploitées, avec plus ou moins d'activité, depuis des siècles, et elles sont aujourd'hui plus recherchées que jamais.

Les mines de Saint-Étienne étaient exploitées dans le quatorzième siècle et, au temps d'Anne d'Urfé, cette contrée était déjà renommée par ses fabriques d'armes qu'alimentait la houille de la Loire. Brassac, le Creusot, la Grand'Combe et l'Allier, Ingrande et Montrelay, fournissaient dans les siècles derniers des combustibles que l'on extrayait à ciel ouvert, ou par des puits plus ou moins profonds rapprochés des affleurements, mais la consommation était fort limitée.

Ce n'est qu'à la fin du dix-septième siècle que les houilles françaises commencèrent à venir à Paris, pour lutter contre la houille anglaise qui conserva presque exclusivement le monopole de cet approvisionnement jusqu'au moment où commença la concurrence des houilles belges.

A cette époque, les inventions modernes, qui ont révélé toute la puissance de la vapeur, n'étaient encore qu'à l'état de germe; les nombreux dépôts carbonifères de la France n'étaient qu'imparfaitement connus; on ignorait l'existence de ceux du Nord, et les routes manquaient pour ceux d'entre eux éloignés des cours d'eau navigables. Ces dépôts houillers, situés dans l'intérieur du pays, adossés aux montagnes qui en constituent les principaux reliefs, ne pouvaient donc, qu'avec les plus grandes difficultés, étendre leurs produits à quelque distance, et les exploitants, de quelque lieu que ce fût de la France, étaient dans l'impossibilité d'imiter, même de loin, les Anglais qui, depuis le douzième siècle, exportaient sur des navires les houilles de Newcastle, préparaient leur puissance industrielle de l'avenir et trouvaient encore ainsi le moyen d'entretenir toute une armée de marins pour les jours de danger.

A la fin du dix-huitième siècle pourtant, on se préoccupait singulièrement de l'avenir industriel et particulièrement de celui des mines. On cherchait la houille de tous côtés et sur de nombreux points de la France.

On pressentait la transformation qu'allaient opérer bientôt l'emploi de la vapeur et les progrès de la fabrication du fer, et les États provinciaux, animés à un haut degré du sentiment de l'intérêt des populations, ordonnaient partout l'exécution de voies de communications, routes, chemins et canaux.

Gauthey exécutait, pour les États de Bourgogne, le canal du Centre qui devait desservir les mines du Creusot; les États du Languedoc faisaient étudier leur province par le mineur de Genssane qui, lui-même, aida de tout son crédit et de tous ses efforts un courageux explorateur, M. de Tubeuf, dont le souvenir est encore aujourd'hui respectueusement conservé à Alais.

Dans le Nord, le roi aidait de ses propres fonds le vicomte Desandrouins qui, malgré mille difficultés à surmonter, découvrit la mine d'Anzin et dota la France d'immenses richesses houillères qu'elle ne connaissait pas encore.

En 1778, l'assemblée générale des États offrait une récompense de 200,000 livres, c'est-à-dire au moins un million de nos valeurs actuelles, pour celui qui ouvrirait une exploitation houillère aux environs de Béthune ou d'Arras.

On fonçait des puits aux environs de Boulogne et de Calais, et partout on cherchait....

Les efforts pour ranimer toutes les industries et particulièrement celle des mines étaient soutenus par toutes les puissances du moment.

La Révolution vint momentanément suspendre ce grand mouvement, mais il reprit son élan au retour de la paix, après 1815 et surtout vers 1825. A cette dernière époque, de nombreuses concessions houillères furent demandées et accordées; des recherches furent entreprises par des exploitants ou par l'État, et, depuis ce temps, la production des combustibles s'est accrue dans des proportions considérables.

C'est ce que montre le tableau suivant :

ANNÉES.	MINES ACTIVES.	PRODUCTION.	CONSOMMATION.
		tonnes.	tonnes.
1788.........	103	225,000	441,592
1815.........	»	881,587	1,112,194
1825.........	»	1,491,381	1,994,385
1835.........	223	2,506,416	3,288,238
1845.........	275	4,202,091	6,843,069
1855.........	»	7,453,045	12,293,686
1865.........	»	11,652,754	18,522,374
1869.........	323	13,509,745	21,432,505
1872.........	»	16,000,000	25,000,000

On voit donc que la production comme la consommation ont suivi une

progression continuelle ascendante, et que l'une et l'autre étaient doublées tous les douze ou quatorze ans.

On voit, de plus, que la production n'a jamais pu atteindre le chiffre de la consommation, et que la France est encore obligée d'acheter à l'étranger, en Angleterre, en Belgique ou en Prusse, les houilles qui lui manquent.

Les causes d'une telle situation se trouvent naturellement dans l'accroissement prodigieux de toutes les industries, dans la position des principales houillères particulièrement situées dans le centre de la France, dans le retard apporté à l'exécution de certains chemins de fer et dans l'imperfection des voies navigables.

On a également considéré le mode de délimitation des concessions comme une des causes qui avaient pu entraver, dans une certaine mesure, le développement de la production.

C'est, en effet, ce qui semble résulter du tableau suivant :

		Surface concédée.	Étendue moyenne des concessions.	Production.	Production par hectare.
Bassin de la Loire,	1864.	28,486	395	3,048,725t	107t
Bassin d'Alais,	1865.	26,888?	»	1,240,000	46
Bassin d'Aubin,	1865.	5,188	324	500.000	96
Département du Nord,	1864.	61,518	2929	1,845,544	34[1]
—	1872.	»	»	3,282,852	53
Département du Pas-de-Calais	1864.	52,050	2602	1,295,138	24,8
—	1872.	»	»	2,709,603	51
Belgique,	1864.	124,718	455	11,158,336	91

Il résulte évidemment de l'examen de ce tableau que les vastes concessions produisent relativement moins que les concessions moins grandes; s'il est juste de remarquer que la grande étendue des concessions facilite le développement des travaux, il est raisonnable de penser aussi que des délimitations différentes auraient multiplié davantage le nombre des entreprises et, par cela même, augmenté la production.

Cependant, en voyant le développement considérable qu'ont pris les mines du Nord et du Pas-de-Calais dans ces dernières années et les immenses richesses houillères que possède le midi de la France; en réfléchissant aux craintes qu'inspirait tout récemment, en Angleterre, l'énorme extraction annuelle qui s'y pratique, ou en se rappelant l'approfondissement croissant des mines de la Belgique, on peut voir sans regret bien des espaces houillers, délaissés jusqu'ici, qui conservent un vaste approvisionnement pour les besoins de l'avenir.

1. Après 130 ans de travail.

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES BASSINS DE HOUILLE ET D'ANTHRACITE DE LA FRANCE.

Région Nord. — Hardinghem. Nord et Pas-de-Calais.
— *Est.* — Bassin de la Sarre[1]. Ronchamps (Haute-Saône).
— *Ouest.* — Le Plessis, Littry (Calvados, Manche).
Chalonnes (Maine-et-Loire).
Vouvant et Chatonay (Vendée, Loire-Inférieure, Deux-Sèvres).
Sablé (Sarthe). St-Pierre-la-Cour, etc. (Mayenne). Quimper (Finistère).
— *Sud-Est.* — Lamure (Isère). Savoie. Haute-Savoie. Fréjus (Var).
— *Centre.* — Blanzy, Creusot, Épinac, La Chapelle-sous-Dun, Forgès (Saône-et-Loire). Sincey (Yonne et Côte-d'Or).
Commentry, Bezenet, Doyet, Fins, Bert (Allier). Decize (Nièvre).
Brassac, Langeac (Haute-Loire et Puy-de-Dôme). Ahun, Bourganeuf, etc. (Creuse). Argentat, Lapleau (Corrèze). Saint-Éloi, Bourg-Lastic (Puy-de-Dôme). Champagnac (Cantal). Lardin, Cublac (Dordogne). Figeac (Lot). Saint-Étienne, Rive-de-Gier, Roanne (Loire). Ternay (Isère). Sainte-Foy-l'Argentière (Rhône).
— *Sud.* — Aubin, Decazeville, Rodez (Aveyron). La Grand'-Combe, Alais, Bességes, Portes (Gard, Ardèche). Prades (Ardèche). Carmaux (Tarn). Graissessac (Hérault). Durban, Ségure (Aude). Basses-Pyrénées. Pyrénées-Orientales.

SURFACE TOTALE DES DÉPÔTS HOUILLERS. — On a toujours essayé, dans chaque pays, de calculer l'étendue des terrains houillers que chaque nation possède; mais ces sortes de calculs ne peuvent en donner qu'une idée très-imparfaite, et chaque jour amène, en quelque sorte, la connaissance de nouvelles surfaces sous lesquelles existe ou peut exister la houille.

En 1841, les auteurs de la carte géologique de la France évaluaient à 240,000 hectares la surface houillère de notre pays, et aujourd'hui, par suite des découvertes faites jusqu'à ce jour, on reconnaît que cette surface est, en réalité, beaucoup plus grande.

Dès 1858, M. Burat l'évaluait à près de 350,000 hectares.

Quant aux terrains concédés, soit pour la houille, l'anthracite, ou le lignite, leur étendue totale, en 1869, est de 571,242 hectares, répartis de la manière suivante :

1. Aujourd'hui allemand.

DÉPARTEMENTS.	CONCESSIONS[1].	SURFACE.	DÉSIGNATION.
		hectares.	
Loire................	72	23,486	Houille.
Gard................	54	48,643	Houille et lignite.
Aveyron.............	43	16,527	Id.
Isère................	42	10,390	Id.
Hautes-Alpes.........	42	5,205	Id.
Savoie...............	40	5,523	Id.
Haute-Savoie.........	11	3,091	Id.
Hérault..............	26	29,306	Id.
Saône et-Loire........	23	42,852	Houille.
Basses-Alpes.........	22	6,037	Lignites.
Nord................	21	61,518	Houille.
Pas-de-Calais........	20	52,050	Id.
Allier..............	21	12,838	Id.
Bouches-du-Rhône....	20	27,670	Lignites.
Var.................	13	8,132	Houille et lignite.
Moselle..............	11	21,750	Houille.
Mayenne..............	11	13,038	Houille et anthracite.
Puy-de-Dôme.........	11	4,606	Houille.
Haute-Loire..........	10	3,822	Id.
Maine-et-Loire.......	9	17,329	Id.
Haute-Saône.........	9	12,587	Houille et houille triasique.
Ardèche.............	8	9,127	Houille et lignite.
Sarthe...............	7	19,729	Houille et anthracite.
Rhône...............	7	3,049	Houille.
Bas-Rhin............	5	12,861	Lignites.
Aude................	5	6,509	Id.
Creuse..............	5	3,812	Houille.
Cantal...............	5	3,020	Id.
Vendée..............	5	2,083	Id.
Vosges..............	4	9,231	Houille triasique.
Vaucluse............	4	7,400	Lignites.
Corrèze.............	4	8,106	Houille.
Ain.................	4	2,110	Lignites.
Loire-Inférieure......	3	15,207	Houille.
Dordogne............	3	2,206	Lignites.
Drôme...............	3	1,436	Id.
Tarn................	2	9,131	Houille.
Jura................	2	1,370	Lignites.
Lot.................	2	1,139	Houille.
Finistère............	2	735	Id.
Landes..............	2	514	Lignites.
Calvados............	1	10,006	Houille.
Nièvre..............	1	8,010	Id.
Manche..............	1	4,761	Id.
Deux-Sèvres.........	1	450	Id.
Doubs...............	1	405	Id.
Hautes-Pyrénées......	1	322	Lignites.
Basses-Pyrénées......	1	128	Houille.
Pyrénées-Orientales...	1	31	Id.
Côte-d'Or............	1	1,141	Id.
Alpes-Maritimes......	1	136	Lignite.
Total.........	625	571,242	

De cette surface nous devons déduire aujourd'hui, comme faisant partie de l'empire d'Allemagne :

Lignite du Bas-Rhin........	5	12,861 hectares.	
Houille de la Moselle........	11	21,750	—
	16	34,611	—

1. Nous sommes obligé de confondre les concessions de lignites et de houille, parce que les documents de l'État ne nous permettent pas de les distinguer. Il est impossible d'en déduire exactement la surface concédée, pour chaque nature de combustible.

réduisant ainsi la surface totale concédée, indiquée plus haut, à 536,631 hectares.

Enfin, en évaluant approximativement à 150,000 hectares la surface concédée pour les mines de lignites, on voit que les mines de houille et d'anthracite occupent aujourd'hui, en France, une superficie concédée d'environ 385,000 hectares.

LIAISON ET EXTENSION DES BASSINS HOUILLERS. — Tous ces bassins houillers dont nous venons de donner les noms paraissent isolés et séparés les uns des autres, et, pendant bien des années, on regardait chacun d'eux comme fort limité.

Ces idées que d'ailleurs, anciennement, on n'avait pas d'intérêt à modifier, persistèrent longtemps, quoiqu'on ait pu voir, d'une part, les travaux de la Moselle, ouverts dès 1815, qui montraient le prolongement du terrain houiller de Saarbruck au-dessous des grès supérieurs; les houilles de Ronchamps, dans la Haute-Saône, disparaissant au-dessous de terrains plus récents, et enfin le terrain houiller du Nord s'enfonçant de plus en plus au-dessous des couches crétacées qui, dans cette contrée, recouvrent une partie de la France.

La théorie que l'on adoptait le plus généralement établissait encore des différences considérables dans la formation de ces divers dépôts houillers; on attribuait aux uns une origine marine, et aux autres, notamment à ceux du centre de la France, une origine lacustre, c'est-à-dire que les uns auraient été déposés au sein des mers, tandis que les autres auraient été formés dans des lacs d'eau douce.

Ces théories tendaient encore à conserver les idées de *bassins circonscrits* et *limités,* et à restreindre notablement l'étendue possible des richesses combustibles de la France.

A partir de 1835, au moment même où l'industrie houillère commençait à prendre une puissante impulsion, ces idées, stimulées d'ailleurs par de nouveaux besoins, se modifièrent, et on commença à chercher la houille en dehors des limites que l'étude de la surface semblait assigner à son étendue. Des sondages multipliés furent entrepris par l'industrie privée et par l'Administration des mines, et on reconnut que l'extension des terrains houillers était beaucoup plus grande qu'on ne l'avait supposé jusqu'alors.

A cette époque, deux théories semblèrent partager les opinions des géologues : ceux qui voyaient les roches triasiques ou jurassiques reposer directement sur les terrains cristallins, dans des points nombreux de la France ou sur des étendues plus ou moins grandes, considérèrent que le terrain houiller ne s'était jamais déposé sur aucun de ces points, et, tout en admettant leur extension possible au-dessous de terrains supérieurs, ils persistèrent à considérer chaque bassin houiller comme formé isolément et représentant, en quelque sorte, un îlot sporadique

plus ou moins étendu; d'autres géologues et particulièrement M. Fournet[1], partant d'un point de vue beaucoup plus élevé, reconnaissant qu'il n'est, pour ainsi dire, pas un de nos bassins houillers qui ne soit un lambeau où l'on ne voie les preuves de puissantes dislocations ou de vastes dénudations, chercha à prouver que la distinction des dépôts houillers en dépôts marins et lacustres n'empêchait pas qu'ils pussent avoir une origine commune et que, bien que disséminés sur le sol et en apparence isolés, ils n'étaient que les ruines d'une vaste formation démantelée, disloquée par toute une série de successives et longues perturbations, et partiellement détruite par les érosions séculaires, marines ou lacustres.

Nous ne discuterons pas ici cette grande question, mais nous ne pouvons nous dispenser d'exposer un résumé des conséquences auxquelles cette manière d'envisager les faits conduisait M. Fournet.

Ce savant géologue n'admettait pas que le terrain houiller du Nord pût s'arrêter au rétrécissement qu'il présente aux environs de Lillers. Le rattachant, par la pensée, aux vastes formations de l'Angleterre, il croyait à la possibilité d'un élargissement en se rapprochant de la mer.

Les recherches de la houille dans le grand intervalle qui sépare les houillères du Nord de celles de la Manche et du Calvados, dans la vallée de la Seine, par exemple, étaient pleinement justifiées.

Il considérait comme réunis entre eux les dépôts houillers de l'Est et du Centre, et il concevait la possibilité de grands sondages en Champagne ou dans les plaines de Dijon.

Suivant lui, « le fond de la vallée de la Loire, qui montre la houille à Decize, peut encore en contenir jusqu'à la hauteur de Roanne. »

Le terrain houiller de Saint-Étienne, qui semble limité du côté du sud-ouest, a dû déboucher dans les plaines de la Loire, et on est autorisé à supposer que les parties abritées par les terrains tertiaires de la concavité de Montbrizon, d'Andrezieu et de Feurs, ont été conservées. Il est enfin permis de concevoir leur ancien raccordement avec la Clayette, Bert, Blanzy, le Creusot, etc.

Sur la lisière occidentale du plateau central se trouve un bassin de grès bigarré dont la ville de Brives occupe le centre et autour duquel on reconnaît un grand nombre d'affleurements houillers signalés depuis longtemps : Jouillac, Donzenac, Alassac, Cérat, etc., sont des points qui paraissent appartenir à un bassin houiller dont les houillères de Cublac marqueraient la limite opposée actuelle. Ce bassin hypothétique de la Corrèze aurait plus de 50 kilomètres de longueur.

Les affleurements du Cantal offrent également une extension possible dont les limites nous sont inconnues.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur toutes ces importantes questions; ce que nous venons de dire suffit pour montrer combien

1. *De l'extension des bassins houillers.*

d'études peuvent être faites encore en France; enfin, si les idées théoriques de M. Fournet sont discutables selon plusieurs géologues, il faut reconnaître qu'elles sont singulièrement utiles, puisqu'elles tendent à stimuler activement les recherches, à ouvrir de nouveaux horizons, et elles peuvent conduire à la découverte de nouveaux dépôts inconnus jusqu'à présent.

EXAMEN RAPIDE DES BASSINS HOUILLERS DE LA FRANCE.

Nous ne pouvons donner ici que des considérations générales sur nos bassins houillers, car ils ont été souvent décrits, et particulièrement par M. Burat qui, depuis si longtemps, s'occupe de la question de la houille. En se reportant à ses divers ouvrages ou aux descriptions géologiques de plusieurs départements, comme celle de la Loire, par M. Gruner, de l'Aveyron, par M. Boisse, du Nord, par M. Dormoy, de l'Isère, par M. Lory, etc., on trouvera les détails les plus nombreux.

Néanmoins nous espérons en dire assez pour donner une idée suffisante de leur importance relative.

Départements du Nord et du Pas-de-Calais.

Dans le Nord nous voyons le bassin d'Hardinghem et celui du Nord proprement dit, qui traverse les deux départements du Nord et du Pas-de-Calais.

Bassin d'Hardinghem. — Le premier, situé dans le Pas-de-Calais, non loin de Boulogne-sur-Mer, appartient à la partie inférieure des terrains carbonifères. La houille y est située entre deux étages de calcaire, dont le plus inférieur repose sur les terrains dévoniens. On y travaille depuis longtemps, et déjà en 1777 on y voyait un puits de 300 mètres de profondeur. Il fournit de la houille sèche, mais de bonne qualité, et sa production est devenue assez restreinte.

Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. — Ce second bassin est l'un des plus importants de l'Europe. Il appartient au prolongement des terrains houillers de Liége, de Namur et de Mons. Il affleure à la surface du sol, au dehors de nos frontières et, en entrant en France, il disparaît sous les terrains supérieurs, tertiaires et crétacés qui le recouvrent et le cachent à nos regards. Les travaux souterrains ont constaté sa présence depuis la frontière belge, du côté de Condé, dans le Nord, jusqu'au delà de Lillers, dans le Pas-de-Calais.

Pendant longtemps on n'a même pas soupçonné l'existence de la houille dans ces contrées, et on aurait pu craindre qu'elles restassent, pour nous, déshéritées des bienfaits que les combustibles minéraux ré

pandent autour de leurs gisements, si, dans le siècle dernier, le vicomte Désandrouin n'avait pas tenté des recherches sur le territoire de Valenciennes.

Nous ne rappellerons pas les difficultés de toutes sortes qu'il eut à surmonter alors; nous nous bornerons à dire que les plus importantes découvertes, celles qui devaient assurer l'avenir des mines d'Anzin, et doter la France de richesses houillères considérables, datent de 1732 et 1734.

Ces découvertes, comme celles qui furent faites à Fresnes, à Aubry, à Crespin, montraient que le terrain houiller pénétrait souterrainement en France au travers du département du Nord, et elles inspiraient déjà l'idée qu'il devait s'étendre dans le Pas-de-Calais; mais, malgré un nombre considérable d'études, ce n'est que plus d'un siècle plus tard, et seulement en 1841, que l'on en acquit la certitude, quand un puits artésien le rencontra par hasard dans les environs de Douai, et indiqua la direction que les recherches devaient prendre.

La Compagnie d'Anzin et celle d'Aniche furent à peu près les seules qui exploitèrent les houillères du Nord jusque vers 1830, et c'est en 1851 que fut ouverte la première exploitation du Pas-de-Calais.

Depuis cette époque, des travaux nombreux ont été exécutés; plus de trente puits, coûtant au moins un million chacun, ont été foncés, en surmontant de grandes difficultés, et la production s'est accrue dans des proportions considérables.

Le bassin houiller du Nord remplit une vallée longue et sinueuse, ouverte au sein des terrains anciens. Cette vallée a plus de 1,500 mètres de profondeur et plus de 100 kilomètres de développement, depuis Condé, dans le Nord, jusqu'à Estrées-Blanche dans le Pas-de-Calais. Sa largeur variable est de 15 kilomètres à la hauteur de Valenciennes, et de 10 à la hauteur de Béthune. Elle va ensuite en se rétrécissant de plus en plus jusqu'aux environs de Lillers, et elle y subit un véritable étranglement.

Les études de M. Dormoy l'ont conduit à considérer ce bassin houiller comme n'étant que la moitié d'un premier bassin préexistant qui aurait été coupé en son milieu dans le sens de sa longueur par une section verticale, dont l'autre moitié aurait été soulevée et aurait ensuite disparu sous l'influence des dénudations qui en auraient entraîné au loin les débris.

Telle est, en effet, l'idée naturelle qui se présente à l'esprit, quand on voit une coupe du bassin présentant au Sud, et comme un de ses bords, une paroi verticale formée de terrains anciens, contre laquelle viennent buter les couches de houille, de grès et de schistes.

M. Dormoy, pour expliquer la disparition d'un massif houiller de plus de 100 kilomètres de longueur et d'environ 2,000 mètres de hauteur, a admis l'influence de puissantes actions torrentielles et diluviennes, mais il paraît beaucoup plus naturel de ne la considérer que comme le résul-

tat de dénudations ordinaires et prolongées qui ont eu lieu dans des temps antérieurs au dépôt des grès verts et de la craie.

On s'est beaucoup préoccupé du prolongement du bassin du Nord au-delà de son resserrement que nous avons constaté aux environs de Lillers, et des recherches nombreuses ont été faites pour le retrouver.

Aux environs de Boulogne, des sondages ont été pratiqués sur presque toute la côte, ainsi que dans un grand nombre de points; en 1872 on n'en avait obtenu aucun bon résultat, et on pouvait remarquer à cette époque que beaucoup d'entre eux avaient été suspendus avant d'avoir été poussés à une profondeur suffisante.

Tout porte à croire qu'un épanouissement du terrain houiller doit exister quelque part, mais il faut reconnaître que la recherche présente bien des difficultés qui, jusqu'à 1873, avaient déjoué tous les calculs.

Les couches de houille du bassin constituent plusieurs faisceaux qui sont de haut en bas :

1° Les faisceaux des couches de houille grasse à longue flamme, dite *flénu*, donnant un coke boursouflé, et trop léger pour servir aux usages industriels.

2° Le faisceau des couches demi-grasses, plus riches en carbone, et donnant un coke plus compacte. Ces houilles sont éminemment propres aux foyers à vapeur et à la fabrication du gaz d'éclairage. Leur coke sert aux locomotives.

3° Les couches de houille grasse maréchale, propre à la forge, et dont le coke sert à la métallurgie.

4° Enfin les couches maigres, de nature anthraciteuse, contenant peu de matières volatiles, brûlant avec peu de flamme et ne donnant pas de coke.

Ces couches offrent des replis, des failles et des rejets analogues à ceux du bassin de Mons.

A Aniche et près de Douai on a exploré, sur un développement de plus de 10 kilomètres, deux de ces faisceaux renfermant 31 couches de houilles grasses et sèches, ayant ensemble une épaisseur totale de 18m.20.

A Vicoigne on exploite un faisceau de 15 couches de 0m 62 d'épaisseur moyenne, formant ensemble une épaisseur de 9m.30.

A Nœux, dans le Pas-de-Calais, on a reconnu 37 couches d'une épaisseur totale de 23m.70.

Enfin, rappelons que les grands établissements d'Anzin, poursuivis sans discontinuité depuis plus d'un siècle, qui ont atteint en quelques points une profondeur de 600 mètres et dont la production peut être considérablement augmentée dans l'avenir, produisaient seuls avec Aniche :

	1871.	1872.
Anzin.	1,710,987 tonnes.	2,097,244 tonnes.
Aniche..	548,086	580,001

On compte à Anzin 25 puits d'extraction, 7 puits d'épuisement et 15 puits d'aérage.

Quand on pense maintenant qu'on a reconnu 156 couches dans le bassin de Mons, dont celui du Nord est le prolongement, que la plupart des concessions sont encore au commencement de leurs travaux qui, moyennement, ne dépassent pas 300 mètres de profondeur, on reconnaît que l'avenir du bassin du Nord est immense, et c'est, du reste ce que l'on peut facilement déduire des chiffres suivants qui montrent l'accroissement rapide de la production et les progrès considérables qui, sous ce rapport, ont été réalisés dans ces dernières années.

Production.

Département du Nord.		Département du Pas-de-Calais.	
1815. . . .	236,850 tonnes.	1815. . . .	4,473 tonnes.
1825. . . .	339,748	1825. . . .	5,725
1835. . . .	539,700	1835. . . .	3,793
1845. . . .	945,802	1845. . . .	20,641
1855. . . .	1,604,550	1855. . . .	149,821
1869. . . .	2,496,116	1869. . . .	1,840,067
1872. . . .	3,282,852	1872. . . .	2,709,603

Total de la production du bassin en 1872 : 5 992 455 tonnes. Près du tiers de la production totale de la France.

Les travaux qu'on y exécute aujourd'hui donnent lieu de croire que sa production dépassera bientôt celle de la France entière il y a seulement douze ans.

Département du Calvados.

Bassin de Littry. — On y exploite la houille depuis plus d'un siècle. En 1749 on y plaça, pour l'épuisement des eaux, la première machine à vapeur qui parut en France sur les mines.

Le terrain houiller n'apparaît que par une bande étroite à la surface du sol, il repose sur les couches siluriennes; il s'enfonce sous le trias et va probablement se relever dans la Manche, au Plessis, non loin de Carentan.

On voit que ce terrain s'est déposé dans une contrée fortement accidentée et présentant souvent des peintements porphyriques qui modifient l'allure des couches de houille que l'on y connaît.

On exploite particulièrement à Littry une couche de 1m.50 à 1m.90 d'épaisseur.

La production du Calvados fut :

En	1815.	14 096 tonnes.
	1835.	42 143
	1855.	37 391
	1869.	14 486

Département de la Manche.

Bassin du Plessis. — Le terrain houiller apparaît près de Carentan en amont des marais de Gorges. On y fit quelques travaux vers 1831, et des recherches à plusieurs reprises. On y voit deux couches de charbon sec, affleurant sur les côteaux qui dominent les marais et plongeant vers Littry. Elles ont été exploitées pendant quelque temps, mais cette exploitation fut interrompue par suite de la rencontre d'un pointement porphyrique qui les arrête brusquement. Un sondage de plus de 300 mètres fut exécuté près des marais au delà de ce pointement. On y rencontra une couche de plus d'un mètre, à la profondeur de 208 mètres. Je ne sache pas qu'on ait jamais pensé à la mettre en exploitation ou à faire de nouvelles recherches.

Ce terrain houiller semble devoir se relier à celui de Littry dont il ne serait que le prolongement, et il paraît devoir présenter une très-grande extension au-dessous des terrains qui le recouvrent.

Production du département de la Manche.

1831.	40	tonnes. Abandonné en 1832.
1844.	2843	»
1855.	0	»
1869.	0	»

Départements de Maine-et-Loire et Loire-Inférieure.

Bassin houiller de la Basse-Loire. — Ce dépôt connu et exploité depuis longtemps, particulièrement dans le cours du siècle dernier à Montrelay, Languin, etc., se développe sur une longueur d'environ 100 kilomètres depuis Doué jusqu'à Nort. Il se développe sur les deux départements du Maine-et-Loire et la Loire-Inférieure. Sa largeur est de 1,200 à 500 mètres. Il occupe l'emplacement d'une vallée étroite et profonde d'une superficie de près de 80,000 hectares. Il paraît devoir être considéré comme l'un des dépôts houillers de la France les plus anciens, et il a été accidenté par des roches vertes et amphiboliques, comme on en retrouve dans le département de la Sarthe, et qui ont exercé une certaine influence sur la forme générale qu'il présente.

On connaît, dans les parties les mieux réglées, 13 à 14 couches presque verticales et qui se répètent des deux côtés de la vallée.

La houille y est sèche, et elle a été utilisée à la fabrication de la chaux qui, au point de vue agricole, a transformé les pays granitiques des environs. Les travaux, poussés particulièrement aux environs de Chalonnes, y ont atteint la profondeur de 300 et 500 mètres.

Il est à remarquer que Languin, situé sur le même bassin, est connu depuis longtemps comme produisant des houilles grasses; on a essayé de les utiliser pour la fabrication du coke, mais les accidents nombreux dont les couches étaient affectées ne permirent pas de lutter alors contre la concurrence anglaise.

C'est dans le Maine-et-Loire que fut accomplie l'application de l'air comprimé au fonçage des puits par M. Triger. Ce travail exécuté dans les sables aquifères de la Loire sera l'éternel honneur du nom de notre compatriote qui a ouvert ainsi une nouvelle direction dans l'emploi des forces dont nous pouvons disposer, et a préparé les immenses percements des chaînes de montagnes, et l'invention des perforateurs actuels appelés à rendre de si grands services à l'industrie minérale.

Production des départements de Maine-et-Loire et de la Loire-Inférieure.

En	1815	20 421 tonnes.
	1825	24 936
	1835	33 805
	1845	52 521
	1855	71 279
	1869	98 121

Production des mines de Montrelais, Monzeil et des Touches en 1873, 31 000 tonnes[1].

Vendée et Deux-Sèvres.

On y connaît deux dépôts allongés à *Vouvant* et *Chantonay*, situés à la suite l'un de l'autre et dans la même direction.

Le bassin de Vouvant, d'une longueur d'environ 20 kilomètres, renferme 7 couches fortement inclinées d'une puissance totale de 7 mètres à 7.50 qui vont se perdre sous le terrain jurassique; le bassin de Chantonay est reconnu sur 15 kilomètres de longueur.

Ces deux bassins qui possèdent de bonnes qualités de charbon sont séparés par un intervalle de 15 kilomètres environ, occupé par les terrains supérieurs, mais l'observation des lieux montre que le terrain houiller existe dans cet espace, et que ces deux bassins n'en forment réellement qu'un d'au moins 50 kilomètres de longueur.

Production :	1815.	L'exploitation n'a commencé qu'en 1830.
»	1830	838 tonnes.
»	1835	1 165
»	1863	28 196
»	1869	48,061

1. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1873.

Finistère.

Aux environs de Quimper se montre le terrain houiller enclavé dans les terrains siluriens. Des travaux de recherche y ont été faits dans le siècle dernier, mais il ne paraît pas qu'ils aient été productifs.

Sarthe et Mayenne.

On trouve dans cette contrée deux étages de combustible, l'un à Saint-Pierre-Lacour (Mayenne), appartenant au terrain houiller proprement dit, et un étage inférieur anthraciteux subordonné au calcaire carbonifère et au terrain dévonien.

Saint-Pierre-Lacour. — Il se compose de deux petits bassins isolés situés l'un au Nord, l'autre au Sud de Saint-Pierre-Lacour, reposant sur les calcaires carbonifères.

Celui du Sud, le plus important des deux, a une longueur de 2,300 mètres, sa surface est à peu près de 600 hectares. Son épaisseur est d'environ 540 mètres.

Parmi les couches de houille qu'on y connaît, on en exploite sept d'une puissance variant de 0.40 à 0.70.

Le deuxième bassin est séparé du premier par un intervalle de 1,200 mètres, occupé par le calcaire carbonifère. Sa longueur est de cinq kilomètres, et son étendue d'environ 1,500 hectares. Il est moins bien connu que le précédent. On y a fait des recherches près de Baloray, où on a reconnu une couche de plusieurs mètres de puissance, mais avec l'intercalation de quelques nerfs[1].

Gîtes anthracifères. — Ils constituent plusieurs dépôts situés aux environs de Laval, ou dans la Sarthe, qui sont depuis longtemps le siége de plusieurs exploitations; leurs limites ne sont pas encore nettement définies : à la Bazouge, à la Baconnière, à l'Huisserie, au Genest, à Sablé, etc.

La Baconnière. — Ce gîte est limité au Sud et au Nord par les calcaires et les quartzites dévoniens. Il est connu sur une longueur de neuf kilomètres. On y connaît six couches de 0.40 à 0.50 d'épaisseur, dont deux ont été poursuivies sur une longueur de 3,000 mètres.

L'Huisserie. — Couche d'anthracite affectée d'inflexions, de renflements et de replis, encaissée dans des quartzites et des grès feldspathiques, probablement dévoniens, connue par ses affleurements sur environ

1. Dorlhac, *Lettre inédite.*

4 kilomètres. Sa puissance varie de quelques centimètres à plus de 20 mètres. Elle est activement travaillée.

Le Genest. — Gîte peu connu, à limites indéterminées, semblable à celui de l'Huisserie. Une couche dont la puissance varie de plusieurs mètres, à 10 et 12.

La Bazouge. — On y connaît deux couches insérées entre des grès et des schistes dont la position géologique n'est pas encore parfaitement définie. On croit qu'ils sont supérieurs au terrain carbonifère, mais quelques géologues les rapportent au terrain dévonien. Les couches ont une puissance variable qui leur donne l'apparence d'une succession de renflements. Cette puissance varie de quelques centimètres, à 12 et 15 mètres.

Gomer. — Couche connue sur au moins 3 kilomètres. Puissance 1 mètre à 1.20. Elle est dans des schistes encaissés dans des quartzites qui paraissent être dévoniens.

Sablé (Sarthe). — On connaît aux environs de cette ville plusieurs dépôts d'anthracite qui reposent sur le terrain dévonien.

Ils constituent deux étages ; l'un situé au-dessous du calcaire carbonifère comme Fercé, Maupertuis et Solesmes ; l'autre, au-dessus du même calcaire, comme Asnières, Poillé et Monfron.

Le gisement de Maupertuis est seul exploité en 1874. On y connaît trois couches ; deux seulement sont exploitables. Leur développement dans le sens de la direction paraît être de 5 à 6 kilomètres. Leur puissance varie de 0.45 à 0.80 et 1m.20.

On peut considérer que l'ensemble de tous ces terrains anthracifères se montre sur une largeur de 26 kilomètres. Il va en se rétrécissant en pénétrant dans la Mayenne, et il se prolonge dans le département d'Ille-et-Vilaine où il ne possède plus qu'une largeur de 12 kilomètres environ. Leurs limites sont encore indéterminées.

Production :

		Mayenne.	Sarthe.
1825.	»	6,340t	9,980t
1855.	»	80,619	29,378
1869 (houille)	10,929	83,646	30,298
1872.	»	»	21,418 (Maupertuis et Saulnérie).

Est. — Moselle[1].

Quoique la majeure partie de la Moselle ait été détachée de la France, nous ne croyons pas devoir omettre d'en parler, ne fût-ce que pour rappeler les efforts faits dans ces dernières années pour y étendre les exploitations houillères, efforts qui font le plus grand honneur aux ingénieurs français qui les ont poursuivis.

Quand les traités de 1815 nous eurent enlevé les houillères de Saarbruck et de Sarrelouis, une Société française se constitua pour chercher dans nos limites le prolongement de ces houillères.

Le succès couronna ces premières tentatives et, en 1817, un premier sondage reconnut à Schœneck, au dessous des grès des Vosges, une première couche de 2m.10 à 65 mètres de profondeur. L'exécution des premiers puits fut entourée d'un grand nombre de difficultés provenant surtout de l'affluence des eaux, mais néanmoins les études et les recherches furent poursuivies avec constance.

Plus de trois millions furent dépensés en sondages, et vers 1846, 1847 et 1849 la Société des houillères de Styring avait reconnu plusieurs couches exploitables. Vers 1853 la houille avait été également découverte dans l'immense plaine de Creutzwald. En 1859 on comptait déjà 6 concessions, et en 1862 l'étendue totale concédée ou demandée dépassait plus de 21,000 hectares.

Le foncement des puits présentait d'immenses difficultés qui ont été décrites par M. l'ingénieur Lévy, mais ces difficultés furent singulièrement amoindries quand on pensa à aborder franchement la traversée des niveaux aquifères au moyen des procédés usités dans le Nord de la France et en Belgique. On est parvenu à les franchir, à traverser ces niveaux et à reconnaître que les couches de combustible fournissaient d'excellentes qualités de houille.

Production :	1830.	350 tonnes.
—	1835.	3,055
—	1864.	140,701
—	1869.	244,989

Haute-Saône.

Ronchamps et Champagney. — La houille est connue depuis longtemps dans la Haute-Saône, mais il n'y a que peu d'années que son exploitation y a pris un développement important.

Ce terrain houiller forme une lisière étroite qui s'appuie sur les der-

1. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale. Bassin houiller de la Moselle*, par Lévy, t. V, 1859.

niers contreforts des Vosges. Il plonge vers le sud et disparaît sous les couches supérieures de grès rouges, de grès des Vosges, etc.

Pendant bien des années on n'exploita la houille que sur la lisière et près des affleurements, et on ne lui assignait qu'une étendue fort limitée ; en 1842 on croyait être parvenu à la fin du bassin houiller parce que les couches, momentanément interrompues, étaient venues se heurter contre un relèvement des terrains inférieurs, mais des études postérieures en firent découvrir le prolongement et ouvrirent à l'exploitation un nouvel avenir qui va toujours croissant.

Des sondages faits à de grandes distances des affleurements et au dehors même de la vaste étendue, de plus de 3,000 hectares pour la plus ancienne concession, ont fait reconnaître l'existence de la houille et ont montré qu'elle se prolonge sur des espaces dont on ne connaît pas aujourd'hui les limites.

On y a reconnu deux couches, faiblement inclinées, d'une puissance totale de plus de 9 mètres et d'une qualité grasse, bonne à la fabrication du coke.

Production :	1815.	8,020 tonnes.
—	1825.	36,578
—	1835.	16,374
—	1845.	16,434
—	1855.	60,912
—	1869.	213,276

Depuis la guerre la production de ce bassin a notablement augmenté.

Isère.

Sud-Est. Bassin du Drac. — Le bassin du Drac a été considéré pendant longtemps comme un bassin anthracifère, n'appartenant pas à la période houillère. Malgré la présence de végétaux fossiles identiques à ceux que l'on rencontre dans les formations de cette période, des géologues ont cru devoir le rapporter à l'époque liasique. En un mot, ce bassin serait une espèce d'anomalie, d'après toutes les idées que l'on a aujourd'hui sur les rapports existant entre les terrains et les restes organiques qu'ils renferment. Mais on sait qu'il n'existe pas d'anomalies dans la nature, et si l'on observe les lieux, on reconnaît une discordance de stratification manifeste et évidente entre les terrains qui renferment la houille et les terrains jurassiques qui leur sont superposés.

Il n'y a donc aucun doute à avoir, et on peut dire, comme M. Lory, le savant géologue de Grenoble et beaucoup d'autres, que le bassin du Drac appartient au véritable terrain houiller.

Ce bassin est formé de plusieurs lambeaux dont le principal se trouve

aux environs de Lamure. Celui-ci repose sur les schistes talqueux, et se prolonge au-dessous des calcaires jurassiques.

En 1854 on y comptait 13 concessions embrassant une surface de 4,084 hectares.

Les couches qu'on y exploite fournissent un charbon qui se rapproche plus de l'anthracite que de la houille. Celles que l'on y connaît jusqu'à ce jour sont au nombre de cinq, ayant une épaisseur totale de 9 à 10 mètres. Parmi elles on en voit une principale dont la puissance a généralement 6 à 7 mètres, atteignant quelquefois 12 et 15 mètres.

Ce bassin offre, en dehors des concessions, une étendue dont on ignore les limites et, suivant toute apparence, de nouvelles études pourraient donner lieu à la découverte du prolongement des couches puissantes qu'on y remarque.

La houille anthraciteuse se présente encore en d'autres points du département et natamment dans la chaîne des Rousses. Au-dessus de Huez on peut voir des exploitations toutes locales situées à de grandes hauteurs et où l'anthracite se montre avec des épaisseurs de plusieurs mètres.

Production :	1815.	5,775 tonnes.
—	1825.	6,909
—	1835.	17,021
—	1845.	40,775
—	1855.	59,274
—	1869.	88,636

Savoie. — Haute-Savoie.

On ne connaît pas de gisements de houille grasse dans cette partie des Alpes qui comprend la Savoie, la Haute-Savoie et les Hautes-Alpes. Le terrain dit anthracifère y est puissamment développé en présentant les accidents qui résultent de la forme profondément découpée du sol, mais le combustible qu'il renferme ne peut être comparé qu'à l'anthracite.

La place que ce terrain doit occuper dans l'échelle géologique a été l'objet de nombreuses controverses, mais nous nous rangeons à l'opinion de ceux qui le considèrent comme le représentant du vrai terrain houiller.

M. de Mortillet[1] rapporte à la houille, comme qualité, un charbon gris qui appartient, suivant lui, à la période supérieure des terrains jurassiques, à la période kimmeridgienne, et qui se rencontre à Chablais, à Darbon, à Taupert, etc. La couche de Darbon a quelquefois un mètre de puissance; son charbon contient 28 à 7 pour 100 de cendres.

1. De Mortillet. *Géologie et minéralogie de la Savoie.*

Dans la Maurienne et dans la vallée de l'Arc, le terrain houiller acquiert un développement considérable. Il se montre des deux côtés de la vallée; il a été traversé par le tunnel du Mont-Cenis, on l'exploite à Saint-Michel, et il se poursuit jusqu'à la mine de plomb et argent des Sarrasins.

Sur les flancs de la vallée on voit des couches puissantes se redresser presque verticalement, et on comprend que dans cette région il existe des quantités considérables de combustible appelées à être de plus en plus recherchées.

Ce charbon est connu, en *Maurienne* : à Lanslevillard, Modane, Fourneau, Orelle, Saint-Michel, Valmeinier, Saint-Martin-outre-Arc, Valloires, Thyl, Saint-Martin-de-la-Porte et Bauen, Albiez-le-Jeune, Albiez-le-Vieux, Saint-Sorlin-d'Arves, Saint-Alban-des-Villards et Saint-Colomban, Argentine et Mont-Sapey.

En Savoie propre : à la Table et à Presle.

En Haute-Savoie : Héry, Haute-Luce, Saint-Maxime-de-Beaufort et Cevins.

En Tarentaise : à Notre-Dame-de-Briançon, Petit-Cœur, Bellecombe, Doucy, Celliers, les Avanchers, le Bois, Moutiers, Haute-Cour, Notre-Dame-du-Pré, Salins, Villarlurin, Sainte-Marie-de-Belleville, les Allues, la Perrière, Montagny, Bozel, Saint-Bon, Pralognan, Champagny, Tignes, Sainte-Foy, Villa-Roger, Séez, Bourg-Saint-Maurice, les Chapelles, Hauteville-Gondon, Landry, Pesey, Macot, Longefoy, Bellentre, Mont-Valesan-sur-Bellentre, la Côte-d'Aime, Aime et Montgirod.

En Faucigny : Saint-Gervais, Saint-Nicolas-de-Véroce, les Contamines, les Houches, Servoz et Taninges.

Quoique nous ayions parcouru une partie des lieux indiqués dans la Note précédente, nous ne pouvons mieux faire que de répéter ce qu'a déjà dit M. de Mortillet.

En Maurienne, les gisements les plus abondants sont groupés autour de Saint-Michel; la facilité des transports, par suite de la présence d'une bonne route nationale, celle de France en Piémont par le Mont-Cenis, et le chemin de fer Victor-Emmanuel, ont beaucoup contribué à attirer l'attention des industriels sur ce point.

En Tarentaise, ces gisements puissants et nombreux s'étendent depuis le haut de la vallée de Belleville jusqu'au Petit-Saint-Bernard. Sur toute la longueur de cette zone ont eu lieu diverses exploitations; mais, dans la vallée de l'Isère, elles se sont surtout développées à Pesey et Macot pour l'usage des mines de plomb, et le long de la route qui va de Moutiers au Petit-Saint-Bernard parce que cette route rendait les transports faciles.

Près de Moutiers, il y a eu diverses exploitations pour les besoins des salines : c'est là que sont les couches les plus pures; c'est là aussi que sont les gisements les plus puissants. Lelivec cite à Montagny des couches

ayant parfois jusqu'à 7 et 8 mètres de puissance. Dans la mine de Champ-Dernier, à la Perrière, on pouvait constater 12 mètres de puissance d'une anthracite d'excellente qualité.

Jusqu'à présent l'anthracite de Savoie n'a pas beaucoup dépassé les usages locaux ; il a été surtout employé au chauffage domestique, aux fours à chaux, aux forges maréchales, clouteries, etc.

La difficulté des transports et la nature même du combustible ont entravé le développement de ces mines ; mais les besoins croissant toujours davantage, il est à présumer qu'il sera appelé à jouer un rôle dans l'industrie. Enfin il est désirable que son étude concorde avec celle des mines métalliques et que l'on trouve le moyen de l'utiliser à ce nouveau point de vue.

Production :

1850.	600	tonnes.
1864.	7,900	—
1869.	9,053	—

Département des Hautes-Alpes.

Le gisement carbonifère des Hautes-Alpes est identique à tous ceux dont nous venons de parler ; on le voit depuis la Grave jusqu'à Besançon, dans la vallée de la Guisane et dans celle de la Durance, notamment à Largentière ; il semble avoir une extension beaucoup plus grande que celle qu'on pourrait lui donner d'après une étude superficielle. L'épaisseur totale des couches connues varie de 1 à 4 et 6 mètres.

On comprend tout l'intérêt qui s'attacherait aujourd'hui à une étude complète de tous ces gisements.

Production :

1825.	500	tonnes.
1845.	4,741	—
1355.	5,565	—
1869.	6,671	—

Département du Var.

Le terrain houiller a été reconnu en plusieurs points dans le département du Var ; il constitue une grande bande qui s'étend de Toulon vers Fréjus et il est visible en plusieurs points : à Toulon même, à Vidauban, à Collobrières et, au pied de l'Esterel, dans les vallées du Rayran et des Vaux. Il s'appuie sur les schistes cristallins et est en partie recouvert par les roches du trias ou par des calcaires supérieurs.

Vers 1857, on fonça un puits de recherche à Toulon, près du fort Lamalgue et presque sur les bords de la mer. Il dut être abandonné après avoir reconnu plusieurs couches anthraciteuses de 0.70 à 0.80 de puissance.

A Collobrières, le terrain houiller apparaît comme une bande étroite et allongée; il renferme de petites couches de charbons gras qui disparaissent au-dessous du trias.

C'est aux environs de Fréjus, dans la vallée du Rayran et des Vaux, que le terrain houiller se montre à l'extérieur sur la plus grande étendue. Il forme, en quelque sorte, le remplissage d'une vallée étroite, ouverte dans les schistes, ayant une largeur maximum de 2 à 3 kilomètres et suivant la direction du Rayran. Il se perd, dans la direction du sud, en se rapprochant de Fréjus où il disparaît sous le trias. Au nord, dans la vallée des Vaux, il va toujours en se rétrécissant, il n'a plus que 4 ou 500 mètres de largeur; mais il se poursuit également au-dessous des terrains supérieurs sur lesquels repose la ville de Grasse.

Les exploitations houillères de la vallée du Rayran ont été pendant longtemps concentrées dans la concession des Vaux, où l'on travaillait une couche de houille sèche, anthraciteuse, d'une puissance moyenne de $1^{m}.50$ à $1^{m}.70$, et présentant de fréquents renflements atteignant quelquefois une épaisseur de 10 mètres.

Des recherches ont été faites aux environs de Fréjus et l'on y a reconnu quelques couches de houille grasse.

Dans ces dernières années on y découvrit des couches de schistes bitumineux que l'on exploita pour la production du gaz des villes de Cannes et de Draguignan. Un établissement y fut fondé pour la distillation des schistes et l'extraction des huiles minérales.

Quand on considère l'ensemble de ces îlots houillers situés, pour ainsi dire, sur les relèvements de la chaîne des Maures et qui vont disparaître au-dessous des terrains supérieurs; quand on voit le terrain du trias acquérir dans ces contrées un très-grand développement, on est porté à croire que le terrain houiller possède, autour de Toulon et de Fréjus, une extension considérable et qu'il s'étend au-dessous de ces hautes montagnes calcaires qui accidentent si fortement la contrée.

Production du département du Var :

1815.	0	tonnes.
1821.	0	—
1835.	0	—
1845.	6,889	—
1855.	906	—
1869.	6,550	—

CENTRE DE LA FRANCE.

Il existe, sur le pourtour des montagnes granitiques occupant le centre de la France, une série de bassins houillers plus ou moins étendus, placés, pour la plupart, dans des dépressions profondes qu'entourent les roches anciennes. Les couches houillères se relèvent sur ces roches et vont se perdre sous les formations secondaires déposées au pied de la saillie granitique. Outre ces dépôts houillers, en général les plus importants, on en trouve encore des lambeaux disséminés sur la surface des terrains cristallins, les uns sans aucune loi apparente, les autres, au contraire, disposés sur une ligne droite de plus de soixante lieues de long.

Tous ces dépôts forment un ensemble général qui a acquis, dans les temps actuels, une importance toujours croissante.

Yonne et Côte-d'Or.

Sincey. — Le terrain houiller y constitue une bande étroite de 180 à 500 mètres de largeur, de 24 kilomètres de longueur, depuis Bierre, près Buffey (Côte-d'Or), jusqu'à Villers-les-Nonnains (Yonne), formée de couches presque verticales, resserrées au milieu d'un granite à grains fins que l'on a considéré comme un porphyre.

On y a trouvé un charbon anthraciteux irrégulièrement disposé, et on y travaille actuellement, 1875.

Ce dépôt, qui se perd à ses deux extrémités sous les terrains supérieurs, ne peut être considéré que comme un des points qui manifestent l'extension du terrain houiller sous le sol de la France, et quand, d'une part, on se rappelle l'étranglement que subit, au delà de Béthune, le terrain houiller du Nord qui pourtant possède une largeur de 15 à 16 kilomètres entre Béthune et Valenciennes : quand on voit la disposition des couches houillères autour du massif du Morvan, on peut concevoir, ainsi que l'a fait M. Fournet, la réunion du terrain houiller de Sincey avec celui d'Épinac, et la possibilité de son expansion dans les plaines de Dijon et près du canal de Bourgogne. A ce point de vue, l'étude du dépôt de Sincey offre un grand intérêt.

Saône-et-Loire.

Le bassin d'*Autun* est borné, au nord et au sud, par des montagnes porphyriques et granitiques; mais, au nord-ouest, il s'enfonce sous le trias. Son étendue, d'après M. Manès, est d'environ 252 kilom. carrés.

La partie supérieure du terrain houiller forme un étage qui ne ren-

ferme que quelques couches de houille de peu d'épaisseur. Cet étage paraît acquérir une assez grande puissance, et c'est au-dessous de lui, dans un étage inférieur, que se trouvent les couches exploitées aujourd'hui à Épinac, au grand Moloy, etc. C'est là aussi que se trouvent les exploitations qui, jusqu'à présent, ont offert le plus d'importance.

On y connaît plusieurs couches et entre autres une couche principale, de plusieurs mètres d'épaisseur, occupant le fond du bassin et qui s'est retrouvée à 430 mètres de profondeur avec une puissance de 8 mètres.

La vaste étendue du bassin d'Autun, disait M. Burat il y a quelques années seulement, qui, dans les dépôts supérieurs, ne contient que des couches de peu d'importance, peut être regardée comme inexplorée; c'est seulement, ajoutait-il, par des travaux de grande profondeur que l'on peut espérer de rencontrer le prolongement des gîtes d'Épinac.

Depuis cette époque, cette grande couche a été reconnue à la profondeur de 620 mètres.

En 1866, la production d'Épinac était de 160,000 tonnes (Burat).

Forges. — Le terrain houiller, peu puissant, y remplit une sinuosité des gneiss, et il va disparaître sous les couches horizontales des marnes irisées, au-dessous desquelles sa largeur reste indéterminée. Sa largeur est de 300 à 800 mètres et sa longueur visible est de 7 kilomètres. Il paraît être dans un repli des terrains anciens parallèle à l'allure générale du bassin du Centre. Des travaux y sont aujourd'hui en cours d'exécution. Production en 1871 : 2,420 tonnes.

La Chapelle-sous-Dun. — Ce bassin, situé au pied de la montagne de la Chapelle-sous-Dun, forme une bande allongée de terrain houiller qui traverse la vallée du Sornin; elle est visible à la surface sur environ 4 kilomètres de longueur et de 500 mètres de largeur dans la partie la plus large ; elle paraît resserrée entre des roches granitiques et porphyriques. Ce terrain semble s'élargir vers son extrémité nord-ouest, et il passe au-dessous des alluvions de la plaine et des marnes irisées. On n'en connaît pas les limites dans ce sens. On y a reconnu 4 couches de houille ayant, dans leur ensemble, environ 7 mètres de puissance. L'une d'elles, dite la Grande-Couche, particulièrement exploitée, atteint de 3^m,50 à 4 mètres. Production en 1871 : 14,274 tonnes.

Quand on examine la carte du bassin de la Chapelle-sous-Dun, dressée par M. l'ingénieur Drouot, on voit que le trias enveloppe sur de grandes étendues les masses porphyriques, et il y a tout lieu de croire qu'au-dessous de lui se développe aussi le terrain houiller qui pourrait s'étendre, ainsi que le pensait M. Fournet, au-dessous de la vallée de la Loire.

Creusot, Saint-Bérain, Blanzy, etc. — Le bassin du Centre est l'un de nos plus importants bassins houillers. C'est là que se trouve le Creusot,

l'une des usines à fer les plus considérables de la France et où, dans le siècle dernier, se firent les premiers efforts pour le traitement des minerais de fer par la houille.

Les progrès réalisés dans ces contrées depuis quarante ans ont été immenses, et on en aura une idée quand on pensera que, vers 1835, le Creusot ne comptait pas plus de 12 à 1,500 habitants, et qu'il y a aujourd'hui plus de 6,000 âmes à Montceau-les-Mines qui n'était alors qu'un hameau.

Ce bassin, situé entre le massif du Morvan et le prolongement de la chaîne du Beaujolais, commence à Saint-Bérain-sur-Dheune et s'étend, de l'est à l'ouest, jusques et au delà de la Loire. Il constitue le remplissage d'une immense vallée ouverte dans les terrains anciens, qui, de Saint-Bérain, va en s'ouvrant et en s'élargissant de plus en plus et atteint une largeur de plus de 15 kilomètres à la hauteur de Perrecy-les-Forges.

Le terrain houiller occupe toute la largeur de cette vallée, mais il n'apparaît que sur ses bords et, dans le centre comme à l'ouest, il est recouvert par des grès supérieurs et notamment par les grès bigarrés.

C'est donc sur les bords de la vallée que se trouvent les exploitations actuelles et que les couches ont été jusqu'ici travaillées.

Sur la rive nord sont échelonnées les mines du *Creusot*, de *Saint-Eugène*, *Toulon* et du *Morillon*, qui ne sont qu'à quelques kilomètres de la Loire.

Sur la rive du sud se montrent les mines de *Saint-Bérain*, de *Long-Pendu*, de *Montchanin*, de *Blanzy*, de *Montceau* et de *Montmaillot*. De ce côté, le terrain houiller disparaît bientôt sous les terrains tertiaire, jurassique ou triasique qui remplissent les vallées de l'Arroux, de l'Oudrache et de la Bourbince. La présence du trias dans cette dernière vallée et sur les bords de la Loire, auprès de Paray-le-Monial, y indique probablement le voisinage du terrain houiller.

Bien que l'aspect des lieux confirmât l'idée de l'existence d'une vallée remplie de terrain houiller et pouvant contenir d'immenses quantités de houille, on n'en fut cependant assuré qu'après l'exécution du grand sondage de Mouille-Longue qui, placé entre le Creusot et Montchanin, a été foncé jusqu'à la profondeur de 920 mètres et a reconnu le terrain houiller sur une épaisseur de près de 170, après avoir traversé une épaisseur de plus de 700 mètres de grès bigarré[1].

Ce sondage n'ayant découvert aucune couche de combustible dans l'épaisseur du terrain houiller qu'il a traversée, a montré que vraisemblablement la houille s'y trouve dans les parties les plus basses de ce terrain, près des schistes anciens sur lesquels il repose, de la

1. Fournet. *De l'extension des terrains houillers.*

même manière qu'on la trouve au Creusot, à Blanzy et dans le bassin d'Autun.

Les ingénieurs regardent comme certaine l'existence de la houille dans la majeure partie de cette vaste étendue, promettant pour l'avenir des ressources considérables.

Le bassin du Centre ne paraît pas s'arrêter à la vallée de la Loire, et depuis longtemps M. Manès considérait le bassin de Bert, situé dans l'Allier, comme lui appartenant. L'ensemble du bassin du centre, dans ces seules limites, aurait donc une étendue en longueur de près de 100 kilomètres.

Rappelons encore qu'à Saint-Bérain le terrain houiller disparaît sous les marnes du keuper et, de ce côté encore, on ignore quelles en sont les limites.

Des détails nombreux ont été donnés sur toutes ces mines, particulièrement par M. Burat et dans plusieurs numéros du *Bulletin de la Société de l'industrie minérale;* nous ne les développerons donc pas et nous nous bornerons à rappeler que, d'après M. l'ingénieur Estaunié[1] :

La lisière septentrionale du bassin fournit des houilles anthraciteuses et des houilles grasses à courte flamme ;

La lisière méridionale possède des houilles demi-grasses et surtout de la houille à longue flamme.

D'après M. Estaunié, «en classant les charbons d'après les proportions croissantes des gaz qu'ils contiennent, on aurait successivement, dans ces contrées, le Creusot, Épinac, Blanzy, la Chapelle-sous-Dun, et, ajoute-t-il, la série est assez continue pour qu'il soit impossible de reconnaître des bassins distincts par une variation brusque de qualité. C'est une considération de plus à ajouter à celles qui militent en faveur de l'existence d'une seule mer houillère avant les dislocations qui ont formé de petits bassins isolés, ou avant les dépôts secondaires qui ont recouvert les intervalles. »

La partie centrale de ce bassin, de 1,000 mètres environ d'épaisseur, possède une puissance de 50 mètres de charbon. Au Creusot, on exploite depuis longtemps une couche d'une épaisseur qui atteint quelquefois 15 et plus de 20 mètres. Elle est presque verticale et descend, avec des ondulations plus ou moins prononcées, jusqu'à plus de 400 mètres.

A Blanzy, le gîte principal consiste en deux couches de 10 à 20 mètres de puissance. On y connaît aussi plusieurs autres couches de 1 à 3 mètres.

A Montchanin, on exploite plutôt une série d'amas représentant probablement une puissante couche disloquée. L'un de ces amas avait de 20 à 60 mètres de puissance. Cette couche paraît correspondre à celle du Creusot qui se trouve sur l'autre bord du bassin.

1. *Annales des mines*, t. XVII.

A Montmaillot, comme à Montceau, on exploite des couches de 12 à 16 mètres d'épaisseur.

Saint-Bérain renferme encore beaucoup de houille qui pourrait suffire à une grande exploitation.

On y connaît deux groupes renfermant chacun trois couches de 1 à 3 mètres de puissance.

Production de Saône-et-Loire :

1815	18,961	tonnes.
1825	37,223	—
1835	144,314	—
1845	410,970	—
1869	1,037,844	—
1871	891,177[1]	—
— Creusot	175,928	—
— Épinac	110,153	—
— Blanzy	468,414	—
— Montchanin	70,361	—

Département de la Nièvre.

Bassin de Decize. — Ce bassin, situé à quelques kilomètres de la Loire et à 40 au-dessus de Nevers, a été exploité depuis longtemps, favorisé par la proximité d'un fleuve qui lui permettait de répandre ses houilles assez loin sur ses deux rives.

Il n'apparaît à la surface du sol, à Beaumont, à la Machine, que par des affleurements peu étendus de terrain houiller entièrement enveloppé par les grès bigarrés et les calcaires jurassiques. Un sondage exécuté par l'Administration, poussé à la profondeur de 200 mètres, et des recherches ultérieures, ont montré qu'il s'étendait au-dessous de ces roches sur de vastes espaces, et, d'après ses études sur l'extension des terrains houillers, M. Fournet le considérait comme un des fragments de cette grande circonvallation houillère qui devait entourer les cimes du Morvan.

L'étendue du bassin de Decize n'est donc pas non plus déterminée. On y connaît 8 couches différentes parallèles, comprenant ensemble une puissance de 9 à 10 mètres de houille, réparties dans une épaisseur de terrain houiller de 6 à 700 mètres.

Des recherches ont été faites, à plusieurs époques, dans la vallée de l'Yonne, non loin de Montceau. Ces recherches étaient ouvertes dans les calcaires du lias et n'ont été poussées qu'à peu de profondeur. D'autres ont abouti directement aux terrains anciens.

1. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1873.

Production des mines de la Nièvre :

1815.	15,814 tonnes.
1831.	15,725 —
1835.	30,621 —
1869.	101,860 —

Département de l'Allier.

Ce département est riche en mines de houille qu'on y exploite avec une grande activité et qui alimentent les nombreuses usines de Montluçon et de ses environs.

Les dépôts houillers que l'on y connaît sont distribués dans des dépressions et des replis du granite, qui se relève dans le département voisin de la Creuse et constitue une grande partie du Limousin.

Ces dépôts sont ceux de Commentry, de Doyet, Villefranche, Buxière-la-Grue, et de la vallée de l'Aumance, de Meaulne, ou de la vallée du Cher, de la Queune et de Bert.

Commentry. — Parmi ces divers dépôts, le plus important est celui de Commentry qui se montre à la surface du sol sur une étendue d'environ 25 kilomètres carrés.

On y exploite, depuis les temps les plus éloignés, une couche principale de 14 mètres de puissance en moyenne, présentant quelquefois une épaisseur de 25 mètres, généralement régulière et peu inclinée. On l'exploitait autrefois à ciel ouvert, et de vastes dépressions du sol indiquent encore l'existence de ces anciens travaux.

En 1867, les travaux avaient une extension de 700 mètres dans le sens de l'inclinaison et 1,500 en direction. Ils occupaient une superficie de 105 hectares. Aujourd'hui (1873) ils se développent régulièrement avec une activité toujours plus grande.

Bassin de Doyet et Bezenet. — Ce bassin, très-rapproché de celui de Commentry, en est séparé par un bourrelet granitique. Comme celui de Commentry, il est encaissé dans les granites et il possède une puissante masse de houille, atteignant jusqu'à 40 et 50 mètres de puissance, formée d'une série de couches très-rapprochées. Jusqu'en 1840 on l'exploitait à ciel ouvert.

Ces mines appartiennent à la Société de Commentry qui, en 1866, avait fourni 335,000 tonnes, provenant en grande partie de Bezenet[1].

Bassins de l'Aumance. — L'Aumance et ses divers affluents traversent plusieurs petits bassins houillers disséminés sur le sol granitique.

1. Burat.

Ces divers lambeaux, dit M. Boulanger[1], recouverts par les terrains tertiaires, forment comme les affleurements et les bords d'un vaste et unique bassin. Depuis Deneuille jusqu'à Saint-Hilaire, sur plus de 25 kilomètres, on peut, dans toutes les vallées, retrouver la trace des terrains houillers.

Ce bassin, dit le même auteur, doit avoir une largeur considérable qui en ferait le dépôt le plus vaste de tout le département. Malheureusement il est en grande partie recouvert par des terrains plus récents.

En descendant l'Aumance, on retrouve le terrain houiller à Meaulne, et, ainsi que l'a dit encore M. Élie de Beaumont en 1841[2], il paraît recouvrir une surface assez considérable sur la rive droite du Cher, au-dessus de Saint-Amand, et s'enfoncer sous les terrains secondaires.

Il est donc impossible de fixer aucune limite à l'étendue de ce terrain dans cette partie de l'Allier et du Cher, et les recherches faites jusqu'à ce jour, recherches peu étendues d'ailleurs, n'ont pas encore reconnu la présence de la houille.

Bassin de Villefranche. — C'est à cette partie qu'appartient le bassin de Villefranche, que M. Boulanger considère comme étant réuni à celui de Buxière-la-Grue.

Bassin de Buxière-la-Grue. — Il est particulièrement connu par l'exploitation des schistes bitumineux qui a donné lieu à la création d'usines importantes pour l'extraction de l'huile minérale.

Plusieurs couches de houille maigre à longue flamme y sont connues; mais, en 1860, on n'en exploitait qu'une de 3^{m},25 de puissance, peu inclinée, comprenant des bancs de grès et de schistes[3] dont on employait particulièrement le charbon pour la distillation des schistes et la cuisson de la chaux.

Bassin houiller de la Queune. — Ce bassin remplit un repli long et étroit des terrains primitifs, entre Souvigny et le Montet; la direction de ce repli est N. N. E.-S. S. O., et sa situation est telle qu'on peut le considérer comme le prolongement d'un repli pareil qui se prolonge vers le sud, au travers du département du Puy-de-Dôme et jusque dans le Cantal où il va se perdre au-dessous des couches basaltiques.

Ce fait, déjà signalé depuis longtemps, est des plus remarquables; il est facile d'en déduire que les divers terrains houillers qu'on rencontre dans cette direction appartiennent à un même ordre de phénomènes, et si l'on remarque que le bassin de Decize se trouve aussi dans la même

1. *Carte géologique de l'Allier.*
2. *Carte géologique de la France.*
3. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, t. V.

direction, on peut réunir ensemble tous ces divers bassins, ainsi que l'a fait M. l'ingénieur Boulanger.

Ce bassin a une largeur de 4,000 mètres à Noyant, à Fins; il n'en a plus que 1,500, ou 800 aux Gabeliers, et, un peu au sud du Montet, à Froidefond, il se réduit à rien. Sa longueur est d'environ dix kilomètres.

On y exploite plusieurs couches de combustible, à Fins, à Noyant, etc.

En 1867, une seule, de 1 à 3 mètres de puissance, était jugée exploitable. Elle occupe le fond du bassin, et il est possible que ce soit la même que l'on travaille dans les diverses exploitations.

Elles présentent la forme générale du repli qu'elles remplissent.

Au sud du bassin de la Queune ou de Fins, on retrouve des lambeaux de terrain houiller à Chapette, comme à Montmarault, qui, à l'égal de ceux que l'on peut voir entre les divers bassins des environs de Commentry, relient tous ces terrains entre eux et montrent qu'ils n'ont fait autrefois qu'une immense nappe, et justifient l'idée de l'existence prolongée du terrain houiller au-dessous des terrains sédimentaires plus récents.

Bassin de Bert. — Situé à l'est du département de l'Allier, aux environs de La Palisse, il s'appuie, au nord, sur les couches anciennes qui séparent la vallée de la Loire de celle de l'Allier, et disparaît, à l'est et à l'ouest, sous les terrains tertiaires.

Sa largeur moyenne est de 6 kilomètres et sa longueur de 12 environ[1]. Sa surface observable est de 68 kilomètres.

La situation de ce bassin, placé dans la direction de celui qui constitue l'ensemble des mines du Creusot, de Blanzy, etc., a fait supposer depuis longtemps à M. Manès qu'il n'en était que le prolongement.

On n'y connaît qu'une seule couche, d'une puissance moyenne de 5 mètres, qui quelquefois atteint l'épaisseur de 8 mètres.

On observe à son voisinage la présence de roches dioritiques.

La production houillère de l'Allier était :

En 1815.	12,090	tonnes.
1825.	14,277	—
1845.	137,121	—
1864.	840,658	—
1869.	949,066	—
1872.	973,378	—

Parmi lesquelles :

En 1872 Commentry.	525,286	tonnes.
— Bezenet.	210,020	—

1. Boulanger. *Carte géologique de l'Allier.*

En 1872 Doyet.	100,300	tonnes.
— Bert.	24,480	—
— Montvicq.	51,220	—

Cet immense accroissement en trente ans, qui augmente encore aujourd'hui dans des proportions considérables, montre toute l'influence des chemins de fer et du travail moderne. C'est, en effet, après 1840 et surtout depuis vingt ans que les usines de Montluçon ont pris le développement que nous leur connaissons.

Département de la Creuse.

Le terrain houiller proprement dit est représenté, dans ce département, par cinq ou six lambeaux formant deux groupes[1] : celui de la vallée de la Creuse et celui de la vallée du Thorion.

Le premier comprend le bassin d'*Ahun*, entre Guéret et Aubusson, et les lambeaux de *Saint-Michel-de-Vaisse.*

Le second, le bassin de *Bostmoreau*, au nord de Bourganeuf, et les lambeaux de *Bouzogles* et *Mazuras*, au sud de la même ville.

L'étendue de ces dépôts est peu considérable. Elle est, d'après M. Grüner :

Ahun.	2,150	à	2,200	hectares.
Bostmoreau.	425	à	430	—
Mazuras et Bouzogles.	140	à	145	—
Saint-Michel-de-Vaisse. . . .	195	à	200	—
	2,900	à	3,000	hectares.

Le terrain houiller de la Creuse est très-dérangé par des porphyres divers et des eurites.

Bassin d'Ahun. — Il occupe une dépression allongée dans le granite, dirigée N. E.-S. O.

Sa longueur est d'environ 15 kilomètres. Sa largeur moyenne est d'environ 2,000 mètres.

Au nord-est comme au sud-ouest, il se termine presque en pointe et les couches qui le remplissent présentent la forme d'un fond de bateau.

D'après les études de M. Grüner, les plantes fossiles que l'on y trouve sont toutes d'origine terrestre; les végétaux marins manquent; mais le fait le plus remarquable à citer est que ces restes végétaux appartiennent à la partie la plus haute du système carbonifère. On n'y trouve même que les plantes qui, dans les grands bassins de France et d'Allemagne, appartiennent spécialement aux étages supérieurs de la formation houillère proprement dite.

1. Gruner. *Étude des bassins houillers de la Creuse*, 1868.

Nous rappelons ce fait pour montrer tout l'intérêt qui s'attache à l'étude des végétaux fossiles dans les bassins houillers de la France ; car c'est seulement à l'aide de leur secours qu'on pourra connaître, d'une manière assez rapprochée, les rapports qui existent entre eux.

On connaît, dans le bassin d'Ahun, trois faisceaux de houille :

Le faisceau supérieur renferme deux couches : 1° la couche la plus élevée, de 0,35 à 0,50 de puissance, donnant du charbon de forge; 2° la grande couche, de puissance variable, de 3m,20 à 2m,40, formée de deux bancs de houille. Le banc inférieur contient rarement au delà de 1m,10 à 1m,30 de charbon.

Le faisceau moyen est le plus riche et le plus important des trois. Il renferme quatre couches d'une allure relativement constante, ayant une épaisseur totale de 8m,15, représentant une puissance utile d'environ 5 mètres.

Le faisceau inférieur comprend trois couches. La troisième couche, située à la base, est souvent remplacée par plusieurs veines charbonneuses. Leur épaisseur est de 1m,70 à 2 mètres, mais non toute utile.

C'est seulement en 1864 que le bassin d'Ahun fut desservi par un chemin de fer et, à partir de ce moment, la production qui, jusqu'alors, avait été très-limitée, est devenue de plus en plus importante.

Bassin de Bostmoreau. — C'est un ovale régulier, renflé au nord, effilé au sud, d'une longueur de 3,500 mètres et d'environ 1,800 mètres de largeur au centre. La moitié est à peu près stérile.

Dans la zone de la Réjeasse, on compte 8 couches variant de 0,40 à 1m,60 et possédant une puissance utile d'environ 5m,65. Le charbon qu'on en extrait est de l'anthracite proprement dite. La flore de ce bassin n'est pas la même que celle du bassin d'Ahun et, par conséquent, M. Grüner en conclut avec raison qu'il existe entre ces deux bassins une lacune considérable.

Production du bassin :

1825	18 tonnes.
1865	4,697 —

Bassin de Bouzogles. — Ce sont deux petits lambeaux de terrain houiller dans le gneiss, séparés par un intervalle de 3,000 mètres. Ces lambeaux, où toute exploitation était suspendue en 1868, ne méritent d'être cités que parce qu'ils montrent que dans ces contrées, aux environs de Bourganeuf, existait autrefois un bassin houiller important qui a été disloqué et dénudé de façon à ne plus nous offrir que ce que nous voyons aujourd'hui.

Bassin de Saint-Michel-de-Vaisse. — Se compose de trois lambeaux de

terrain houiller enclavés dans un tuf granitique. Leur longueur réunie est de 5 kilomètres.

Ce bassin paraît ne renfermer que des veinules de houille.

Production de la Creuse :

1815.	38^{ton}	
1835.	1,599	
1864.	25,447	
1865.	74,913	(Ahun et Bostmoreau.)
1872.	275,786	(Ahun.)

Département de la Corrèze.

On ne connaît pas, dans la Corrèze, d'exploitation importante ; mais le terrain houiller s'y montre en plusieurs points, situé entre le gneiss et les grès bigarrés, et, d'après l'opinion de M. de Boucheporn [1], sa présence en ces lieux divers serait un fait important à constater parce qu'il tendrait à faire croire qu'il s'étend au-dessous des grès supérieurs et qu'il occupe dans la Corrèze une surface considérable.

M. de Boucheporn suppose que le terrain houiller des environs de Brives forme un grand fond de bateau dont les affleurements, à Alassac, à Vignole et à Lauteuil, d'une part, à Cublac de l'autre, seraient les parties élevées et pouvant avoir ainsi une largeur de plus de 15 kilomètres.

Cette opinion est aujourd'hui généralement admise; nous la trouvons reproduite dans les ouvrages de M. Burat, et les géologues considèrent comme terrain houiller certains grès fort étendus de ces localités que l'on a toujours considérés comme des grès bigarrés.

L'étude de ces contrées offre donc un très-grand intérêt.

On connaît la houille particulièrement à Lapleau, à Cublac et à Argentat.

Bassin de Lapleau. — C'est une sorte de coin presque horizontal de terrain houiller, peu étendu, qui pénètre dans le granite. Ce gisement est des plus curieux en ce qu'il montre cette dernière roche recouvrant complétement les couches houillères.

Que d'études n'y a-t-il pas à faire sur tout cela !

L'étendue de ce coin est de 900 mètres sur 400. Il a présenté deux couches irrégulières qui ont été exploitées depuis longtemps ; mais sa production a constamment déchu.

Bassin d'Argentat. — Petit lambeau houiller d'environ 400 hectares de

1. *Carte géologique de la Corrèze. — Carte géologique de France.*

superficie. Sa puissance est d'environ 50 mètres entre les conglomérats supérieurs et les schistes anciens sur lesquels il s'appuie. Il renferme au moins trois couches affectées de nombreux accidents.

Bassin de Cublac. — Ce bassin, situé à l'extrémité sud-ouest de la Corrèze, se relie avec le bassin du Lardin dans la Dordogne, sans discontinuité. Il fait saillie au milieu des grès rouges et des grès bigarrés. Il appartient au grand dépôt houiller dont M. de Boucheporn admet l'existence.

Développement inconnu.

Le terrain houiller a été signalé encore près de Donzenac; on a exploité une couche de 0,40 au village de la Chauverie, près d'Alassac. Enfin il se montre encore en plusieurs lambeaux près de Bort; ces lambeaux sont la suite du terrain houiller de Messeix.

Production houillère de la Corrèze :

1814.	11,263	tonnes.
1835.	1,789	—
1864.	5,914	—
1869.	2,909	—

Puy-de-Dôme, Haute-Loire et Cantal.

Bassin de Saint-Éloi. — En parlant des bassins houillers de l'Allier, nous avons vu que le bassin de Fins se trouvait dans un repli des terrains anciens, aligné N. E.-S. O. Le principal dépôt houiller du Puy-de-Dôme, le bassin de Saint-Éloi, paraît n'être que la continuation de ce repli qui se prolonge encore plus loin, dans le département du Cantal où il va se perdre sous les conglomérats et les terrains volcaniques.

Ce dépôt, qui s'étend près de Montaigut, a une longueur de 38 kilomètres; sa largeur est de 1,500 à 1,600 mètres environ à la hauteur de Saint-Éloi; il se rétrécit de plus en plus en marchant vers le sud, et se termine presque en pointe auprès de Pontaumur. Il reprend un peu plus loin, s'étend sur 4 kilomètres jusqu'aux environs du Puy-Saint-Galmier.

Les couches de houille de ce bassin affectent, à Saint-Éloi, la forme d'un double fond de bateau, c'est-à-dire qu'elles se relèvent vers le centre et offrent, par suite de ce repli, un développement d'environ 2,000 mètres.

On y connaît 4 couches de 3 à 4 mètres de puissance, très-rapprochées, ayant ensemble une épaisseur de 45 mètres. On les exploita d'abord à ciel ouvert à Lavernade.

Les autres parties du bassin renferment des couches de 1 à 3 mètres[1].

1. Burat. *Les houillères en* 1867.

Production :

1862.	25,692 tonnes.
1872.	181,229 —

Bassin de Bourglastic. — Aux environs de Messeix et de Singles, on exploite des couches de houille qui appartiennent encore au prolongement des replis précédents, auxquels elles se rattachent par des traînées intermédiaires de terrains houillers.

Le bassin auquel elles appartiennent se prolonge dans le département du Cantal, en passant par les exploitations de Champagnac, de Mauriac, etc., jusqu'aux environs de Saint-Christophe, sur une longueur générale d'environ 66 kilomètres. En quelques points, comme à Lempret et à Largniac, cette longue bande a une largeur de près de 3,000 mètres. Elle est interrompue en quelques endroits par les dépôts volcaniques qui les recouvrent, comme elle passe au-dessous du grand plateau phonolithique des orgues de Bort. D'après l'opinion de M. Tournaire[1], elle se relie aux bassins de la Creuse et de la Corrèze.

Les couches de houille que l'on y connaît ne se suivent pas toutes; celles que l'on exploite ont une puissance de 1m,20 à 3 mètres et elles fournissent, sur une épaisseur de 0,60 à 0,80, un charbon de bonne qualité, collant et à longue flamme[2].

Production de Single :

1862.	1,794 tonnes.
1872.	2,663 —

Production de Champagnac (Cantal) :

1862.	1,207 tonnes.
1872.	1,533 —

Bassin houiller de Brassac. — Les mines de houille de Brassac, connues encore sous le nom de mines de houille de l'Auvergne, appartiennent à un bassin qui s'étend à la fois sur le département du Puy-de-Dôme et sur celui de la Haute-Loire. Il se dirige suivant la vallée de l'Allier; il constitue une espèce d'ellipse allongée, depuis les environs de Brioude jusqu'au confluent de l'Alagnon, ayant environ 18 kilomètres de longueur et 5 de large. Vers le sud, du côté de Brioude, il disparaît sous les terrains tertiaires; mais au nord, là où il traverse l'Alagnon, il est entièrement enveloppé par les terrains anciens. Néanmoins, son ensemble général

1. *Géologie du Cantal.*
2. *Carte géologique de France.*

et l'allure des couches qu'il renferme, affectant une disposition en forme de cuvette, donnent lieu de croire qu'il constitue un bassin limité de toutes parts, et que son prolongement vers le nord et du côté d'Issoire serait interrompu quelque part, du côté de Morial.

Il remplit une vaste cuvette dont le centre, à la surface, est presque entièrement occupé par des terrains tertiaires, et le terrain houiller, qui en occupe l'espace caché le plus souvent aux yeux, n'apparaît que sur ses bords où il est relevé.

Dans le nord, il forme une lisière continue où apparaissent les affleurements, et dans le sud il ne se montre que par lambeaux isolés, appliqués sur les parois des terrains anciens.

Jusque dans ces derniers temps, toutes les exploitations, telles que celles de la Combelle, des Barthes, de la Taupe, de Grosménil, etc., étaient à peu près concentrées vers le nord, et au sud on ne voyait que les explorations faites à Lamotte, sur les bords du bassin.

En 1840, l'État fit exécuter un sondage à son centre; ce sondage était parvenu, en 1842, à la profondeur de 223m,60 sans avoir atteint le terrain houiller. Un accident survenu à ce moment en détermina la suspension. Il montra néanmoins ce fait important que, vers son centre, le bassin houiller offrait une sorte de profonde falaise le long de laquelle était venue se déposer une grande quantité d'alluvions.

Il appartenait à l'industrie privée de résoudre la question qui, d'ailleurs, avait été déjà élucidée par M. Baudin [1].

Quatorze ans plus tard, une Société fut organisée pour reprendre le travail de recherche, et on ouvrit un puits à quelques centaines de mètres plus au sud que le sondage. Poussé à 205 mètres, il fut arrêté par suite de dégagements de gaz acide carbonique; mais un nouveau sondage, poussé sur son fond, rencontra le terrain houiller à 283 mètres au-dessous de la surface.

L'existence du terrain houiller au centre du bassin, et son prolongement sur toute l'étendue de la cuvette, est donc démontrée, et il ne s'agit plus que de rechercher, par des puits plus profonds, les couches que l'on exploite aujourd'hui sur ses bords ou dans la partie nord. Un second puits fut foncé dans ce but aux environs de Frugères; il fut également abandonné à la profondeur de 150 mètres.

En 1872, tous ces travaux étaient encore délaissés; mais il est probable que le temps n'est pas éloigné où l'on recherchera les richesses houillères qu'ils étaient destinés à atteindre. Ces richesses ne paraissent pas douteuses, surtout quand on pense, d'après les allures connues des bords du bassin, qu'il doit y avoir encore une épaisseur de terrain houiller d'au moins 1,000 mètres à traverser.

On connaît dans le bassin de Brassac 27 couches, se développant en

1. *Description du bassin houiller de Brassac.*

fer à cheval, en fond de bateau, et affectées de replis divers dans une épaisseur de terrain d'environ 12 à 1,500 mètres.

Ces couches ont une puissance qui varie de 0,80 à 1 mètre, 1^m,50 et 3 mètres, et deux d'entre elles atteignent dans plusieurs concessions, comme à la Combelle, à Grosménil, etc., une puissance de 22 et 30 mètres.

Bassin houiller de Langeac et de Lachalède. — Le bassin de Langeac se trouve à Marsanges, sur l'un des affluents de l'Allier. Il est encaissé au milieu des terrains primitifs. On y connaît plusieurs couches de houille dont l'une atteint l'épaisseur d'environ 3 mètres[1].

La couche la plus basse a été particulièrement exploitée.

Le bassin de Lachalède se trouve sur l'Allier. Il n'est pas autre chose que le prolongement de celui de Marsanges dont il paraît être séparé par un relèvement granitique. Les travaux, ouverts près des bords de l'Allier et sur sa rive gauche, à proximité de Langeac, ont mis à nu une couche fort irrégulière, atteignant quelquefois une grande puissance et renfermant des blocs de fer carbonaté. En 1872, les travaux étaient suspendus.

On ne connaît pas les limites du bassin de Lachalède; car si, sur la rive gauche de l'Allier, on le voit buter en plusieurs points contre le granite, on voit aussi que, sur la rive droite, il s'étend au-dessous des conglomérats volcaniques qui en font perdre le prolongement.

Des travaux de recherche sérieux ont été autrefois ouverts sur ce bassin, mais ils ont été peu suivis, et, en réalité, on ignore ce qu'il renferme. Placé comme il l'est à la suite du bassin de Marsanges qui renferme de belles couches d'une houille de bonne qualité, il est difficile de croire qu'il soit privé de combustible.

Production :

	Puy-de-Dôme.	Haute-Loire.	Cantal.
1814......	12,689	4,450	222
1815......	7,560	9,642	222
1825......	8,650	28,426	200
1835......	12,560	22,216	180
1845......	15,598	55,593	50
1864......	88,842	126,598	1,375
1872......	382,988		1,533 (Champagnac).

Département du Rhône.

Le terrain houiller y apparaît en plusieurs points, à *Sainte-Paule*,

1. *Carte géologique.*

l'Arbresle, *Courzieu*, *Sainte-Foy-l'Argentière*, parmi lesquels ce dernier a seul donné lieu à une exploitation régulière.

A *Sainte-Paule*, il apparaît comme une bande étroite de 150 mètres environ de largeur, en couches redressées et verticales. Des recherches y ont été faites sans succès, à plusieurs époques, jusqu'à 1871. Ce dépôt va disparaître sous les grès bigarrés de Mussy-le-Bas, et M. Fournet considérait que les recherches auraient dû de préférence être poussées du côté de Jarnioux où, dit-il, les morts terrains n'ont qu'une faible épaisseur et où on aurait l'espoir de trouver plus de régularité.

Le dépôt de *l'Arbresle* apparaît sur la Turdine sous forme d'un lambeau peu étendu qui disparaît de toutes parts sous les grès bigarrés.

Des recherches y ont été faites sans résultat. Morand[1] nous dit qu'en 1772 on y fit des travaux qui durent être abandonnés à cause des eaux.

D'après M. Fournet[2], les gîtes de Sainte-Paule et de l'Arbresle, que l'on peut ne considérer que comme le prolongement de la grande nappe de Saône-et-Loire, ne seraient que les deux bras avancés d'une même formation dont le corps peut s'enfoncer sous la Saône, quelque part vers Villefranche.

« Si, d'ailleurs, ajoute-t-il, on était jamais tenté d'explorer cette partie de la contrée, il conviendrait de ne pas perdre de vue les protubérances de schistes métamorphiques, placées dans le bassin du Nizeron et de la Vauxonne, afin d'en éviter la trop grande proximité avec l'influence qu'elles peuvent exercer sur les lisières de la formation houillère. »

Les deux dépôts houillers de Courzieu et de Sainte-Foy-l'Argentière se montrent dans la vallée de la Brevenne et, comme celui dont nous venons de parler, sur les pentes de la chaîne du Boucivre.

A *Courzieu*, on voit le terrain houiller, peu épais, en contact avec le terrain ancien, sur une longueur de 3 kilomètres et une largeur d'environ 300 mètres.

On y avait trouvé une couche de 0,50 d'épaisseur que l'on jugeait alors inexploitable.

Le dépôt de *Sainte-Foy-l'Argentière* est situé au-dessus de celui de Courzieu ; il en est séparé par un resserrement que produisent des roches amphiboliques. Son étendue est de 10 kilomètres en longueur et environ 2,000 mètres au maximum dans le sens de la largeur. On y connaît trois couches dont une a une puissance de $1^m,80$. On les exploite aujourd'hui avec activité.

Il n'est séparé des plaines de la Loire que par une faible épaisseur de montagnes.

1. *Traité de l'exploitation des mines de houille.*
2. *De l'extension des terrains houillers.*

Production houillère du département du Rhône :

1815....................	4,697 tonnes.
1825....................	6,795 —
1835....................	7,577 —
1845....................	15,990 —
1869....................	30,546 —

Département de la Loire.

Le bassin houiller de la Loire est connu depuis un temps immémorial, et il est probable que les affleurements des couches de houille qui sillonnent les environs de Saint-Étienne ou de Rive-de-Gier ont été l'objet d'exploitations plus ou moins profondes aux époques les plus reculées, et ouvertes pour la plupart à ciel ouvert.

C'est seulement dans le dix-septième siècle, lorsque la fabrication des armes commençait à se développer dans ces localités et à acquérir le renom qu'elle s'est de plus en plus acquis jusqu'à nos jours, que les houillères prirent elles-mêmes une importance toujours croissante.

Vers la moitié du siècle dernier, des fouilles nombreuses étaient ouvertes autour de Saint-Étienne, à Saint-Victor, à Monthieu, à la Ricamarie, aux Sorbiers, à Firminy, au Clapier, au Treuil, au Clusel, à Roche-la-Molière, etc., et les exploitations de Rive-de-Gier étaient en grande activité. Dans cette dernière localité, en 1770, on avait déjà cessé d'exploiter quelques parties, comme le Gravenend, qui fut repris plus tard, à cause des difficultés de l'épuisement des eaux, et, d'après les instructions de Jars, on y fabriquait du coke pour l'usine de cuivre de Sainbel.

Vers cette même époque, on cherchait partout et on poursuivait des travaux à la Fouillouse, travaux qui furent bientôt abandonnés.

En 1781, l'ouverture du canal de Givors, commencé en 1761, était probablement la cause de l'impulsion que les travaux recevaient alors; mais le grand mouvement des houillères de la Loire, qui n'a cessé de s'accroître, remonte surtout au moment de la création des chemins de fer d'Andrezieu et de Givors, qui permettait d'entrevoir un débouché plus facile que jamais dans les deux grandes vallées de la Loire et du Rhône.

Le dépôt houiller de Saint-Étienne remplit une longue vallée ouverte dans les gneiss et les micaschistes, depuis Fraisse et Firminy jusqu'à Tartaras, en passant par les villes de Saint-Étienne, Saint-Chamond et Rive-de-Gier.

Sa longueur totale est d'environ 40 kilomètres.

Sa largeur maximum, à la hauteur de Saint-Étienne, est de 12 kilomètres, et elle va presque constamment en se rétrécissant en se rappro-

chant du Rhône. Ainsi, à Rive-de-Gier, elle n'a guère que 2 kilomètres, et elle atteint à peine 300 mètres à Tartaras.

Sa surface totale est d'un peu plus de 21,000 hectares.

Il est formé, dans son ensemble, d'une alternance de couches de schistes et de grès, à grains plus ou moins gros, dans lesquelles on ne retrouve ni le calcaire carbonifère ni le millstone-grit qui existent dans ce même département, dans l'arrondissement de Roanne, et qui se rapportent à la formation dite anthracifère.

Ce dépôt représente donc le véritable terrain houiller; il est particulièrement caractérisé par la discordance des couches qui le constituent avec celles des micaschistes sur lesquels il repose, et, jusqu'à présent, par l'absence totale de houilles absolument sèches. Toutes les houilles que l'on y connaît sont généralement grasses, collantes à un degré plus ou moins élevé, et d'excellente qualité.

Pendant longtemps et jusque vers 1835, on l'avait considéré comme composé de deux bassins distincts qui semblaient séparés par l'axe montagneux des deux côtés duquel s'écoulent les eaux vers l'Océan et la Méditerranée; mais on a reconnu que ces deux bassins étaient reliés entre eux d'une manière continue.

Par suite de l'idée que l'on avait de la séparation du dépôt en deux parties distinctes, les couches de houille de Rive-de-Gier paraissaient ne pas se trouver dans les environs de Saint-Étienne; mais les études ultérieures ont conduit M. Grüner à admettre la possibilité de leur existence au-dessous de toutes les couches stéphanoises. D'après cette manière de voir, les ingénieurs admettent que les couches de houille constituent quatre faisceaux principaux ou quatre groupes qui, considérés d'une manière générale, sont, de bas en haut[1] :

1° Groupe de Rive-de-Gier;
2° Groupe inférieur de Saint-Étienne;
3° Groupe moyen de Saint-Étienne;
4° Groupe supérieur de Saint-Étienne.

Le premier, principalement connu à Rive-de-Gier, renferme 3 couches dont une principale de 8, 12 et 18 mètres de puissance. Sa puissance est d'environ 500 mètres.

Le deuxième groupe, dit *système inférieur de Saint-Etienne*, passe à Saint-Chamond, entoure Saint-Étienne et s'étend jusqu'aux limites ouest du bassin houiller. Il mesure environ 10,000 hectares. Sa puissance totale est d'environ 600 mètres. Il contient 7 à 8 couches dont une principale de 6 à 8 mètres.

En 1857, on les exploitait principalement au nord de Saint-Chamond et dans les parties nord-ouest du district stéphanois.

1. Gruner. *Géologie de la Loire.*

Le troisième groupe, dit *système moyen*, occupe exclusivement les environs de Saint-Etienne et ne couvre guère plus de 1,700 hectares. Sa puissance varie de 320 à 650 mètres.

Dans sa partie houillère, on connaît une grande couche de 8 à 10 mètres et plusieurs veines secondaires de 1 à 2 mètres.

Le dernier groupe, dit *système supérieur*, comprend un faisceau houiller assez important par le nombre de ses couches, mais peu constant. Il n'a qu'une superficie d'environ 1,300 hectares.

Telle était la division que l'on adoptait généralement. Sans entrer dans d'autres détails à cet égard, détails qu'on trouvera dans les ouvrages de M. Grüner et de M. Burat que nous avons cités, nous voyons que chaque groupe du terrain houiller de Saint-Étienne renferme une grande couche principale et plusieurs autres, et que tous ensemble, appartenant à une formation houillère d'environ 2,000 mètres de puissance, renferment 28 à 30 couches d'une épaisseur moyenne, ensemble, de 50 à 70 mètres.

Ces couches sont fréquemment recoupées par des failles qui empêchent que l'on puisse en établir rigoureusement la synonymie. Elles les rejettent aussi quelquefois à des niveaux de plus de 300 mètres, et lorsqu'on veut rétablir leur position telle qu'elle a pu être originairement, on reconnaît qu'une puissance énorme de terrain houiller, un millier de mètres au moins, a été enlevée par de longues dénudations.

L'ensemble de la vallée qui renferme toutes ces couches n'est connu dans ses profondeurs que dans quelques points, et si les couches y affectent la forme d'un fond de bateau, on peut remarquer que cette forme n'est que générale et qu'elle a été profondément affectée par les divers mouvements du terrain houiller pendant et après sa formation.

Anthracite. — Indépendamment des houilles le département de la Loire possède encore des anthracites que l'on extrait dans le Roannais. Ils sont connus depuis longtemps et on les exploitait déjà dans le cours du siècle dernier[1].

On les trouve particulièrement sur le plateau de Neulize où ils constituent plusieurs centres d'exploitation plus ou moins isolés, qui sont les districts de *Combres* et de *Régny*, de *Lay* et *Viremoulin*, de *Neulize* et *Saint-Priest-la-Roche*, de *Bully* et *Jœuvre*, de la *Bruère* ou *Amions*.

L'anthracite y existe en couches disposées généralement en chapelets, d'une puissance variable de 0,50 à 2 mètres, avec des renflements de 2 à 7 mètres. On y connaît 4 couches insérées dans un grès éminemment feldspathique, représentant le *millstone grit* des Anglais, d'une puissance de 2 à 500 mètres, ayant à sa base un poudingue qui, lui-même, repose sur le calcaire carbonifère.

1. *Géologie de la Loire*, par M. Grüner.

L'anthracite du Roannais a une densité de 1m,50 ; il contient généralement 25 pour 100 de cendres et 8 1/2 pour 100 de matières volatiles. Il sert particulièrement pour la fabrication de la chaux.

Les grès anthracifères s'étendent jusqu'à la plaine de Roanne où ils disparaissent au-dessous des terrains tertiaires.

Production d'anthracites de la Loire.

En 1855.	10,726 tonnes.
1869.	8,629

Production du département de la Loire :

			Rive-de-Gier.	Saint-Étienne.
1815. . .	337,074[1]		»	»
1825. . .	550,388		»	»
1835. . .	896,359	1872. . .	570,000 (?)	2,918,748[1]
1845. . .	1,405,530			
1855. . .	2,278,998			
1865. . .	3,045,600			

Ces quantités étaient réparties ainsi qu'il suit[2] :

	1872.	
Houillères de Saint-Étienne. . . .	525,883	tonnes.
Mines de la Loire.	350,952	—
Montrambert.	455,650	—
Roche-la-Molière et Firminy. . . .	481,580	—
Beaubrun.	336,036	—
Chazotte.	237,220	—
Le Cros.	114,440	—
Montieux.	125,432	—
Diverses mines.	291,555	—
Rive-de-Gier.	252,885	—
La Péronnière.	100,086	—
Diverses mines.	207,029	—

Dépôt houiller de Ternay et Communay (*Isère*). — Le terrain houiller apparaît, dans le département de l'Isère et sur les bords du Rhône, à Ternay, sur le prolongement de la direction de celui de Saint-Étienne et Rive-de-Gier.

Les auteurs de la carte géologique de France l'avaient considéré, en 1841, comme n'étant que le prolongement de ce dernier dont il est séparé par un relèvement du gneiss aux environs de Montrond.

1. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1873.
2. *Ibid.*

On le voit s'appuyer sur les terrains anciens à Ternay, à Chonas, à Chamagneu, et apparaître aux environs de Serpaize.

Cette situation donne lieu de croire avec raison à un épanouissement important du terrain houiller, dans cette contrée, au-dessous des sables diluviens et des molasses qui les recouvrent presque entièrement. C'était aussi l'opinion de M. Fournet et celle de M. Lory, l'auteur de la carte géologique de l'Isère.

Ce dépôt houiller était connu depuis longtemps et on y fit des recherches vers la moitié du siècle dernier. Ces recherches ont été reprises à plusieurs époques. Des puits ont été poussés jusqu'à des profondeurs de 200 mètres; mais, jusqu'à ces dernières années, on n'était pas parvenu à trouver de couches puissantes, et le charbon de celles que l'on avait reconnues se rapprochait plus de l'anthracite que de la houille.

Départements du Gard et de l'Ardèche.

On connaît, dans ces départements, les dépôts houillers de la Grand'-Combe, de Portes et de Bességes; celui de Prades, situé aux environs d'Aubenas et du Vigan dans le Gard.

Le premier de ces deux dépôts a acquis une importance considérable qui va constamment en croissant.

La houille y était connue depuis longtemps aux environs d'Alais. Elle y était déjà exploitée sur une assez grande échelle au commencement du dix-septième siècle[1], et à la fin du siècle dernier on tirait du charbon à la Grand'Combe, à Saint-Jean-de-Valériscle, à Portes et Sénéchas, à Bességes et à Bannes dans l'Ardèche. Mais toutes ces exploitations n'avaient qu'une importance secondaire quand, d'après les conseils de M. de Genssane, des travaux plus étendus furent ouverts par M. de Tubeuf à Alais et en divers autres points. Néanmoins, en 1835, la plupart de ces contrées manquaient de voies de communication; on transportait encore la houille à dos de mulets jusqu'aux filatures qu'elle alimentait particulièrement, et l'on n'y pensait qu'à la satisfaction de la consommation locale.

Ce dépôt houiller ne commença véritablement à jouer un rôle important dans l'industrie française[2] qu'à dater du jour où l'on conçut l'exécution d'un chemin de fer de la Grand'Combe à Alais et d'Alais à Beaucaire, c'est-à-dire vers 1840.

Jusqu'à cette époque, les usines de Marseille étaient presque exclusivement alimentées par les houilles anglaises qui s'y vendaient au prix moyen de 45 fr. la tonne; et quand le chemin de Beaucaire à Marseille

1. *Essai historique sur l'exploitation de la houille dans le Gard.* Malinowski.
2. *Note sur l'industrie houillère du département du Gard*, 1866, par F. Chalmeton.

fut livré au public, le charbon de la Grand'Combe put être fourni à cette ville à un prix inférieur de 15 francs.

Ce n'est que dix-sept ans plus tard, en 1857, et on ne peut y penser sans un certain étonnement, que les houillères de Bességes purent venir concourir aussi à s'opposer à l'introduction sur le littoral des houilles étrangères.

Ce progrès a été réalisé; de plus, on a reconnu, non sans peine, contrairement aux idées admises jusqu'alors, que les charbons français pouvaient être avantageusement employés aux usages de la navigation, et toutes ces mines se sont développées d'une manière considérable. Des usines ont été créées, et à Bességes où, il y a trente-cinq ans, on comptait à peine quelques centaines d'habitants, on peut en voir aujourd'hui plus de 10,000; l'activité règne aux environs de Portes, qui n'étaient alors qu'un désert et une forêt de châtaigniers ou de pins, et la Grand'Combe est actuellement un des pays du Gard les plus peuplés.

Le terrain houiller du Gard ne forme pas, comme celui de Saint-Étienne ou celui du nord de la France, le remplissage d'une longue vallée souterraine dans laquelle se trouvent plissées, contournées et rejetées les couches de houille qu'on y connaît.

Il constitue une longue zone appuyée sur les pentes méridionales et primitives du plateau central, s'enfonçant au-dessous des terrains plus récents sans qu'on puisse en déterminer les limites.

On l'avait, jusqu'à ces dernières années, divisé en *bassins* d'*Alais*, de la *Grand'Combe*, de *Bességes;* mais, ainsi que l'a si bien dit M. Fournet, ces mots n'ont aucun sens géologique. « Ils sont mensongers par tous les bouts et ils ne peuvent être conservés que comme souvenir des vieilles superstitions dont la science n'a pas été plus exempte que tant d'autres catégories de l'entendement humain[1]. »

L'ensemble charbonneux, sur une étendue d'environ 28,000 hectares, nous apparaît donc comme une nappe continue qui suit les contours des schistes primitifs, depuis les environs de la Grand'Combe jusqu'au delà de Portes, qui contourne le massif du Rouvergne, passe à Bességes et s'étend jusqu'à Pigère, commune de Bannes, dans le département de l'Ardèche. Vers ses limites méridionales, cette longue bande disparaît sous les terrains triasique et jurassique au milieu desquels vient percer son prolongement souterrain à Alais, à Saint-Jean-de-Valériscle, au Mas-Dieu, à Molières, aux environs de Saint-Paul-le-Jeune et à Montgros.

M. Parran[2] divise tout ce terrain houiller en trois parties, d'une épaisseur totale de 1,755 mètres.

La partie supérieure, de 800 mètres de puissance, renferme 13 couches

1. Fournet, *De l'extension des terrains houillers*, p. 187.

2. *Essai d'une classification stratigraphique des terrains du Gard*, par M. Parran. Alais, 1871.

de houille d'une puissance, ensemble, maximum de 12 mètres. Elle se montre au Mazel (extrémité est du bassin, Ardèche), aux Salles, à Molières, aux Brousses, à Saint-Jean-de-Valériscle.

La partie moyenne, de 405 mètres de puissance, contient le faisceau houiller supérieur de Champclauson, Comberedonde, montagne Sainte-Barbe, Portes, Chauvel, Mercoirol, Martinet, Trélys, Palmesalade, Bességes supérieur, Lalle. Elle présente, à la montagne Sainte-Barbe (Grand'Combe), 11 couches de houille d'une épaisseur totale maximum d'environ 18 mètres.

La partie inférieure, d'une puissance de 550 mètres, possède le faisceau inférieur de Portes, Levade, Grand'Combe, Bességes; 16 couches de houille, d'une puissance maximum de 18 à 20 mètres, à la Grand'-Combe.

D'après M. Parran, cette épaisseur *maxima* de charbon doit être réduite de moitié dans chaque faisceau charbonneux, pour donner l'épaisseur moyenne du combustible.

Si l'on considère cette vaste formation dans son ensemble, on voit qu'à l'extrémité Ouest, à la Grand'Combe, où ne se trouvent que les faisceaux moyen et inférieur, elle atteint l'altitude de 204 mètres, tandis qu'à l'extrémité Est et au Mazel (Ardèche), où se présente le faisceau supérieur, cette altitude est de 474 mètres. On peut donc remarquer que de vastes dénudations en ont enlevé des parties considérables. De plus, dans cet intervalle de l'est à l'ouest, les couches ne se présentent pas de la même manière; des failles viennent les relever ou les déranger, de sorte qu'il est difficile d'en établir la synonymie[1]; enfin, à l'est, au Mazel, le terrain houiller s'arrête brusquement à la montagne oxfordienne de Banelle, et les couches de houille de cette localité viennent buter contre le calcaire.

Bassin houiller du Vigan. — Le terrain houiller de cette contrée, comme celui de la Grand'Combe, de Bességes et de Portes, s'appuie sur les montagnes primitives des Cévennes et, comme lui, il disparaît au-dessous des couches secondaires et tertiaires qui forment une grande partie du département du Gard. Il paraît en deux points, à Cavaillac et à Coularon, et c'est sur le premier de ces deux points qu'ont existé, pendant longtemps, des exploitations locales abanndonnées depuis.

On y connaissait 4 couches dont deux, de 1 mètre à $1^m,50$, s'inclinant légèrement vers le sud, ont seules formé l'objet des travaux. La houille, un peu pyriteuse, y renferme 6 à 8 pour 100 de cendres; elle était particulièrement employée pour le service des chaudières.

Enfin, lorsqu'on jette un coup d'œil d'ensemble sur les divers endroits

1. Voir la *Géologie des houillères de la Grand'-Combe*, par M. Callon. *Annales des Mines*, t. XIV, 4e série.

où apparaissent à la surface du sol les terrains houillers du Gard, à Bannes (extrémité ouest de l'Ardèche), Bességes, Portes, la Grand'Combe et le Vigan; lorsqu'on voit tous ces terrains s'étendre vers le sud au-dessous des couches plus modernes, il paraît bien difficile, et pour les uns et pour les autres, de savoir à quelle distance leurs diverses assises peuvent se prolonger au-dessous de ces couches.

Quand, d'autre part, on se rappelle l'existence du terrain houiller sur les pentes du Tanargue, les lambeaux de ce terrain disséminés sur les flancs des hautes montagnes de l'Ardèche, et le relèvement de ce terrain sur les pentes de la chaîne des Maures ou de la montagne Noire, on croit reconnaître que l'ensemble de tous ces dépôts, démembrés en apparence, a appartenu à une vaste nappe, aujourd'hui démantelée, qui se reliait à tous les groupes houillers du midi de la France, comme elle devait se rattacher à ceux du centre en contournant le massif du plateau central.

Production du département du Gard :

1815. . .	20,576	tonnes.			
1835. . .	46,263	—	1871. . .	1,355,021	tonnes.
1845. . .	415,925	—	1872. . .	1,476,853	—
1855. . .	727,716	—			
1864. . .	1,163,964	—			
1869. . .	1,222,309	—			

Département de l'Ardèche.

Ce département comprend les mines de Bannes, situées sur le prolongement Est du dépôt houiller de la Grand'Combe, de Bességes et de Portes, et de celles de Prades, près d'Aubenas.

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, les couches de houille du faisceau supérieur du dépôt du Gard viennent buter contre le terrain oxfordien, qui se présente comme une sorte de falaise interrompant tout à coup le terrain houiller et le rejetant à une profondeur qui n'est pas encore connue.

En pénétrant plus à l'est, vers le pays des Vans, on retrouve les grès bigarrés dont on voit des lambeaux s'échelonnant sur les hauteurs qui le dominent, et, à l'Argentière, l'étage auquel ces grès appartiennent est représenté par des schistes colorés qui renferment des minerais de plomb argentifère et appartiennent peut-être au terrain permien.

Dans toute cette contrée, le prolongement du terrain houiller de la Grand'Combe et de Bességes, s'il existe quelque part, est donc entièrement caché; il est probable que les recherches, pour essayer de le retrouver, devraient se faire dans la plaine de l'Argentière ou dans celle des Vans.

Dépôt houiller d'Aubenas. — C'est un lambeau de terrain houiller qui possède la forme d'une vallée étroite, d'environ 2,500 mètres de largeur maximum et environ 10 kilomètres de longueur, passant par les pays de Jaujac et de Prades, et resserrée entre les hauteurs granitiques du Tanargue et celles d'un de ses contre-forts, dans la direction E. O.

Ce dépôt se termine en pointe du côté de Jaujac et, bien qu'il se rétrécisse également vers l'extrémité nord-est, au delà de Prades, son allure n'y est pas déterminée et donne lieu de supposer qu'il puisse s'évanouir au delà, du côté de l'Ardèche, et s'étendre dans les plaines de l'Argentière et des Vans que nous avons citées plus haut.

Il est fortement disloqué par des dykes de quartz, des porphyres, des phonolithes, des basaltes et des laves. En quelques points, il repose sur le gneiss.

On y connaît cinq groupes houillers renfermant plusieurs couches de 0,90 à 3 mètres. Le charbon y est anthraciteux[1].

Production houillère de l'Ardèche :

1815	2,530	tonnes.
1825	14,277	—
1835	5,308	—
1845	8,895	—
1855	4,992	—
1869	10,651	—

Département de l'Aveyron.

Peu de départements sont aussi richement dotés que celui de l'Aveyron au point de vue de l'industrie minérale[2]. Il constitue le Rouergue, autrefois célèbre par ses nombreuses mines de toutes sortes et particulièrement de cuivre, de plomb et d'argent. La houille y existe abondamment et elle y forme des couches d'une étendue et d'une puissance remarquables.

Le terrain houiller se montre principalement en deux localités dont l'une est connue sous le nom de *bassin d'Aubin et de Decazeville*, dont l'autre est dite *bassin de Rodez* et d'*Espalion*. Il apparaît encore dans l'arrondissement de Sainte-Affrique.

Bassin d'Aubin. — La houille y est connue depuis les temps les plus reculés, comme dans tous ces lieux de la France où elle se présente à la

1. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale. Bassin carbonifère des environs d'Aubenas.* Danton, t. III, 1858.

2. *Carte géologique de l'Aveyron.* Boisse, 1870.

surface du sol et sur les affleurements. Son exploitation, dans des temps un peu reculés, dépendait de la navigation du Lot que l'on tenta d'améliorer depuis des siècles, et qui aurait permis l'approvisionnement facile des provinces du Sud-Ouest; malgré les travaux qui y furent exécutés, les houillères de Decazeville et d'Aubin ne commencèrent à prendre d'extension qu'après 1824 ou 1825, lors de la fondation des usines et forges que nous y voyons aujourd'hui si grandement développées, et surtout depuis 1835 et depuis la création des voies ferrées.

Les seize concessions qui occupent la presque totalité de sa surface ont, ensemble, une étendue de 5,187 hectares.

Quoique le bassin d'Aubin soit en majeure partie enclavé dans les schistes primitifs, l'examen de la carte géologique de M. Boisse montre que si ses limites sont parfaitement déterminées à la surface, elles cessent de l'être souterrainement en plusieurs points.

Ainsi, d'Auzits à Firmy, sur une distance d'environ cinq kilomètres, il disparaît sous les terrains triasiques, et il est permis de croire à son prolongement au-dessous de ces terrains comme au-dessous des roches triasiques et jurassiques que l'on peut suivre depuis Auzits jusques et au delà des limites de la Lozère du côté de Séverac-le-Château; rien enfin ne semble s'opposer à ce qu'il se relie d'une manière continue avec le bassin de Rodez et d'Espalion, quoiqu'il puisse être, en quelques points, accidentellement interrompu par des relèvements primitifs sur lesquels peuvent reposer directement les terrains supérieurs au terrain houiller.

On voit encore le bassin d'Aubin disparaître, au sud-ouest au-dessous des calcaires jurassiques, sur une longueur d'environ deux kilomètres, et il semblerait qu'il dût s'étendre et se développer jusqu'à des distances plus ou moins rapprochées de Rignac, mais divers sondages effectués de ce côté n'ont pas produit le résultat qu'on en attendait.

Les couches de houille du bassin d'Aubin sont considérées comme appartenant à deux systèmes ou étages distincts; chacun de ces systèmes se compose « d'une ou plusieurs assises, qui, tantôt se réunissant en une seule couche, tantôt au contraire se dédoublant, se subdivisant et présentant, dans leur allure, dans leur puissance, dans la distance qui les sépare les unes des autres, les variations les plus multipliées, se plient à l'explication des anomalies[1] apparentes. »

Ces deux systèmes se trouvent dans la partie moyenne du terrain houiller que l'on considère comme composé de trois étages : 1° l'étage inférieur stérile; 2° l'étage moyen le seul productif, renfermant encore du minerai de fer, et 3° l'étage supérieur formé d'une série de grès et d'argiles.

C'est le système supérieur de cet étage moyen qui est le plus riche; il

1. Boisse.

est particulièrement caractérisé par la présence d'une couche d'une puissance de 50 à 60 mètres.

Plusieurs autres couches de puissance variable, mais comparativement minces, sont particulièrement exploitées sur les bords du bassin où on les voit se relever, elles se trouvent à la partie inférieure du même étage.

Les couches sont en général ondulées et plissées, ou affectent l'allure de fonds de bateau; elles sont soumises à de nombreux accidents et particulièrement au voisinage de roches porphyriques et serpentineuses qui se montrent en plusieurs points, et là, comme partout ailleurs, sur les divers bassins houillers de la France, les dénudations séculaires ont enlevé une grande portion du terrain et des couches.

La houille est généralement d'une qualité inférieure à celle des houillères de Saint-Étienne et de la Grand'-Combe, et l'abondance des pyrites et des substances volatiles qu'elle renferme a donné lieu à de grandes difficultés dans l'exploitation. Les incendies souterrains y existent pour ainsi dire de temps immémorial et il a fallu tout l'art des ingénieurs pour lutter dans certains cas contre les obstacles qu'ils faisaient naître ou pour en circonscrire l'étendue.

Ces incendies se montrent encore aujourd'hui dans certaines parties abandonnées aux environs de Cransac; les réactions chimiques qui en résultaient, au contact des gaz, des roches et de la houille, y donnaient lieu à des produits divers, tels que du coke, des scories, des porcelanites, des émaux et de l'alun, qui, au commencement de ce siècle et jusque vers 1823, y fut l'objet d'exploitations qui purent jouir de quelques années de prospérité.

Bassin houiller de Rodez. — Entre Espalion et Rodez se trouve un groupe de montagnes compris entre les deux vallées du Lot et de l'Aveyron. Au Sud et au Nord, ces deux vallées, considérées d'une manière générale, représentent pour ainsi dire les bords primitifs entre lesquels se sont déposées les couches secondaires qui en constituent l'intervalle.

C'est, en effet, entre ces deux limites que se montrent les terrains jurassiques et sur leur direction apparaissent les terrains houillers, relevés sur les penchants granitiques.

On voit là une vaste dépression dans laquelle sont venus s'accumuler les dépôts permiens triasiques et jurassiques, et au fond de laquelle semble pouvoir exister le terrain houiller comme dans une sorte de golfe, ou une longue vallée pouvant aller rejoindre le bassin de Decazeville.

Le terrain houiller apparaît au Sud en plusieurs points, depuis Séverac jusqu'à Rodez sur l'Aveyron, au Nord à Espalion, etc., s'appuyant, ainsi que je l'ai dit plus haut, sur les terrains primitifs et disparaissant sous les terrains secondaires.

Le nombre des couches de houille n'est pas constant[1]; on en connaît généralement cinq.

Sur la lisière méridionale il y en a trois dont une qui est particulièrement exploitée à une épaisseur de 0^m,50 à 2 mètres.

Le charbon de la couche principale est collant, un peu chargé de pyrites.

Ce bassin possède d'importantes ressources, mais on n'y voit plus ces couches de 20, 30 et 50 mètres qui existent dans celui d'Aubin, et les moyens de communication lui ont fait défaut pendant longtemps.

Ses mines produisent annuellement de 10 à 12,000 tonnes de houille.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer que près de la Draye, dans le canton de Saint-Geniez, le terrain houiller renferme des couches de calcaire noirâtre et compacte situées au-dessus des couches de houille.

Le terrains houiller apparaît encore du côté de Requista, arrondissement de Saint-Affrique en formant un petit bassin dont l'étendue paraît comprise dans celle de la concession de Brousse.

Indépendamment des houilles dont nous venons de parler, on connaît des couches de combustible sur le Larzac et dans la vallée de la Dourbie, gisant dans l'oolite inférieure; elles ont une puissance de 0,50 à 0,60, et elles s'étendent avec une grande régularité sous les plateaux du Larzac et du Causse-Noir. On en voit encore de même nature dans le bassin de Villefranche aux environs de Cajarc et de Cadrieu.

Production du département de l'Aveyron :

En	1815.	4,500 tonnes.
	1835.	12,096
	1845.	172,780
	1865.	512,750
	1869.	592,394
Production du bassin d'Aubin en	1872.	648,607

Département du Lot.

Bassin de Figeac. — Non loin du bassin de l'Aveyron, le terrain houiller apparaît dans le département du Lot. Il semble n'y avoir qu'une faible étendue, mais il faut remarquer qu'il est de toutes parts recouvert par les terrains secondaires qui en cachent le développement.

On y a fait quelques travaux qui ont reconnu une couche de charbon schisteux de 1 mètre de puissance environ, et qui n'a jamais donné lieu à une exploitation de quelque importance.

Dans les études de MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy (1841) nous voyons que le grès bigarré des environs de Figeac avait été pris pour

1. Boisse.

du terrain houiller à cause de sa coloration et de son inclinaison; l'administration fit particulièrement étudier ce terrain par M. Cordier qui reconnut « qu'il existait entre ces deux terrrains une différence marquée dans la stratification[1]. Cette conclusion, que nous ne saurions contester, ne pourrait empêcher que l'on étudiât ces localités au point de vue de l'épanchement que peut y avoir le terrain houiller de l'Aveyron, car elles montrent partout, les terrains qui le recouvrent aux environs de Firmy, comme dans les vallées du Lot et de l'Aveyron, et situés dans des positions peu éloignées des relèvements primitifs qui constituent la plus grande partie du plateau central.

Production du département du Lot :

En 1815	0 tonnes.
1832	150
1845	0
1855	2,629
1869	4,488

Département du Tarn.

Bassin de Carmeaux. — Le terrain houiller constitue à Carmeaux une lisière très-étroite, d'environ deux kilomètres de longueur, dont la surface est comprise dans l'unique concession de cette localité de plus de 8,000 hectares.

Il s'appuie sur les terrains anciens dans lesquels on voit, non loin de là, l'ancienne mine de cuivre de Rosières, et il disparaît bientôt au-dessous des terrains tertiaires.

Les travaux actuels sont concentrés autour de Carmeaux. C'est là que depuis des temps assez éloignés on extrayait le charbon dont l'exploitation était facilitée par le voisinage du Tarn qui en permettait l'écoulement dans le Midi.

Des études ont été faites pour en reconnaître le prolongement, et on a fait des sondages entre Carmeaux et Albi, mais ces sondages ont rencontré les terrains inférieurs après avoir traversé les terrains tertiaires. « Mais, « dit M. Burat, la région de l'ouest présente des chances plus favorables, « les grès bigarrés se trouvant liés avec les dépôts houillers par des pas- « sages minéralogiques ou des concordances de stratification qui sem- « blent indiquer que la dépression houillère et celle des trias offrent cer- « taines similitudes géographiques. »

Quelquefois, les grès bigarrés et surtout les couches triasiques se montrent en discordance de stratification avec celles du terrain houiller, mais, néanmoins, très-souvent aussi cette discordance n'existe pas et il existe

1. *Carte géologique de France.*

en effet, ainsi que le dit M. Burat, un certain rapport entre ces divers terrains. Dans les cas où la concordance est parfaite, il est probable que certains grès, pris pour des grès bigarrés, ne sont pas autre chose que du terrain houiller. C'est au moins l'opinion qu'exprimait le savant professeur de la Sorbonne, M. Hébert, pour certains grès des environs de Brives.

Nous pouvons avoir encore l'exemple d'un pareil doute dans le Tarn. Nous voyons, en effet, qu'en 1796 des travaux furent ouverts aux environs de Réalmont, et que des sondages poussés seulement à environ 100 mètres y furent encore foncés en 1835 dans des grès que l'on rapportait aux grès bigarrés, mais qui, renfermant des plantes houillères, avaient une position géologique véritablement douteuse[1].

De nouvelles recherches ont été pourtant entreprises vers 1862 et 1865, sans que l'on soit parvenu à de meilleurs résultats. Il semble que le bassin de Carmeaux soit moins étendu qu'on ne paraît porté à le croire. D'après M. Burat la concession de 8,000 hectares en embrasserait au moins la moitié.

On exploite à Carmeaux quatre couches de houille de 1 à 3 mètres de puissance, faiblement inclinées et remarquables par leur régularité.

Le charbon y est collant et de très-bonne qualité.

Production du département du Tarn (Carmeaux) :

En 1815	7,500 tonnes.
1825	14,452
1845	45,705
1865	112,583
1869	115,341
1872	185,540

Département de l'Hérault.

L'Hérault renferme des richesses houillères considérables sur deux points que l'on connaît sous les noms de bassin de Graissessac et bassin de Roujan.

Bassin de Graissessac. — Il est situé dans la partie occidentale de la chaîne de montagnes qui, dominant le département de l'Hérault, sépare les eaux de l'Océan de celles de la Méditerranée. Il forme lui-même une zone montagneuse d'environ 20 kilomètres de longueur, depuis le pont de l'Orb, sur la route de Lodève à Bédarrieux, jusqu'aux environs du pont de la Mouline dans le Tarn.

Il constitue le remplissage d'une vallée ouverte dans les terrains an-

1. *Carte géologique de France.*

ciens, courant de l'est à l'ouest, qui se resserre de plus en plus vers l'ouest et s'ouvre et s'élargit du côté de Bédarrieux.

Sa largeur moyenne est d'environ 2 kilomètres; mais, en se rapprochant de l'Orb, il atteint une largeur de plus de 5 kilomètres.

Au nord et à l'ouest, il s'appuie contre des schistes de transition traversés, en quelques points, par des porphyres qu'a décrits M. le professeur de Rouville.

Au sud, il s'appuie sur des schistes analogues et sur des calcaires dévoniens. A l'est, il disparaît sous les grès rouges permiens de la vallée de l'Orb, et ouvre un large champ à toutes les conjectures pour son extension au delà des limites qu'il montre à la surface du sol.

La houille était connue à Graissessac depuis un temps immémorial. En 1776, de Genssane, l'historien des mines du Languedoc à cette époque, visita les nombreux travaux ouverts, en un grand nombre d'endroits, sous le régime de la liberté de l'exploitation des houilles qui régnait alors en France.

Les exploitations de cette dernière époque durent lutter longtemps contre la difficulté inhérente à l'insuffisance des voies de communication, et jusqu'à 1858 leur production, d'une trentaine de mille tonnes annuellement, était portée péniblement par des charrettes jusqu'au canal du Languedoc. Depuis 1858, elles ont été reliées par un chemin de fer aux voies du Midi et elles ont reçu une puissante impulsion qui s'accroît notablement aujourd'hui. On en aura une idée quand on se rappellera qu'en 1858 la production de ces mines atteignait seulement 39,000 tonnes et que neuf ans plus tard, en 1867, elle s'élevait au chiffre de 177,000[1].

Les couches de houille suivent, en général, l'inflexion du terrain; elles affectent la forme d'un fond de bateau entre les terrains anciens et, là où le bassin s'épanouit, elles plongent comme les terrains permiens qui les recouvrent.

Dans les concessions du Devois et de Saint-Gervais, on exploite 6 couches d'une puissance totale de 13 à 14 mètres, et comprises dans une épaisseur de terrain de 84 mètres.

Dans la concession de Boussagues, on exploite 8 couches d'une épaisseur ensemble de 20 mètres et d'une puissance variant de 1m,60 à 8 mètres.

Le charbon y est de bonne qualité, et on y trouve les houilles grasses et demi-grasses. Dans la partie occidentale du bassin, c'est-à-dire vers les parties où ce bassin se resserre, les houilles passent au charbon anthraciteux qui appartient à la partie la plus inférieure du bassin.

Les houillères de Graissessac paraissent appelées vers un avenir dont l'importance s'accroîtra chaque année.

1. *Note sur le bassin de Graissessac*, par M. Pomier-Layzargues. — *Bulletin de la Société géologique de la France*, 1868.

Bassin de Roujan. — Il est situé à 15 kilomètres environ au nord de Pézenas, et il se présente sous forme d'une bande étroite et allongée, de quelques centaines de mètres seulement de largeur, visible en plusieurs points sur environ 12 kilomètres de longueur, et courant du S. O. au N. E. Cette bande s'appuie sur le terrain dévonien et elle plonge au sud sous les terrains permiens et triasiques. Le terrain houiller de Roujan n'est donc qu'un affleurement de ce terrain qui acquiert souterrainement et vers le sud une étendue qu'il est impossible de déterminer.

Il a été l'objet de trois vastes concessions qui s'étendent à 5 ou 6 kilomètres vers le sud et embrassent une superficie d'environ 7,000 hectares.

On y connaît plusieurs couches de faible puissance qui fournissent un charbon collant et propre à la forge.

Production du département de l'Hérault :

1815.	5,788	tonnes.
1825.	13,286	—
1845.	35,708	—
1864.	148,703	—
1872.	220,000	—

Département de l'Aude.

Dans la chaîne des Corbières et sur leur revers méridional existent deux bassins houillers, dits de *Ségure* et de *Durban*, qui n'ont eu jusqu'à présent qu'une bien faible importance.

Bassin de Ségure. — Il est situé près de Tuchan. Le terrain houiller apparent y forme un bassin à peu près elliptique dont le grand axe aurait environ 2,000 mètres de longueur. Il est limité, au nord et au nord-ouest, par les schistes de transition ; recouvert, au sud-ouest, par des grès rouges, et relevé à l'ouest par une zone de porphyre.

On a considéré ce bassin comme circonscrit et très-limité ; mais, si on remarque que les grès rouges qui le recouvrent se montrent dans la même situation au-dessus des houillères de San Juan las Abadesas, situé sur le versant espagnol des Pyrénées et que ces grès renferment des plantes houillères, on peut croire qu'ils appartiennent aussi au terrain houiller ; dans ce cas, le bassin de Ségure aurait, dans cette contrée, une étendue beaucoup plus grande que celle qu'on lui suppose ordinairement[1], et il se prolongerait jusqu'au-dessous des couches crétacées du mont Tauch.

On y connaît plusieurs couches d'une puissance, ensemble, d'environ 10 mètres, et fortement accidentées. La houille y est sèche et anthraciteuse.

1. *Bulletin de la Société géologique de France*, 1857. Noguès.

On a essayé de se servir de ce combustible pour traiter directement le minerai de fer; mais les essais ont été infructueux. On voit encore aujourd'hui, près de Tuchan, les ruines de l'ancienne usine. En 1872, on n'y faisait aucun travail.

Bassin de Durban. — Comme le précédent, il n'apparaît au jour que sous une petite surface d'environ 2,000 mètres de longueur et 1,000 de large. On y retrouve les mêmes grès rouges de Ségure. Ce bassin paraît se développer au-dessous des terrains crétacés et ses limites sont tout à fait inconnues.

Les auteurs de la carte géologique y ont signalé l'existence de petites couches de charbons gras et collants.

Quelques travaux y ont été faits à diverses époques, mais sans suite, et il est probable qu'il peut être encore l'objet de bien des études.

Pyrénées.

Jusqu'à ces dernières années, on considérait le versant français des Pyrénées comme dépourvu de terrain houiller proprement dit.

Le calcaire carbonifère est puissant et étendu dans certaines parties de la chaîne, comme dans l'Ariége, où il recouvre les riches mines de fer de Vicdessos, et dans la Haute-Garonne, sous la forme des marbres de Saint-Béat; mais il est généralement compris entre les terrains de transition et les calcaires supérieurs, et rien n'y dénote la présence possible de ces dépôts de combustible que nous avons pu rencontrer auprès de lui dans le nord ou le centre de la France.

Dans les Pyrénées-Orientales, la tradition rappelle l'existence de mines de houille à Prades, et Morand[1] nous dit que l'abbé Soulavie, si connu des anciens géologues, lui a donné des renseignements sur la mine de charbon de Prades dans le Roussillon. Il n'y a pas de confusion possible entre Prades dont il est ici question et Prades de l'Ardèche.

Mais, si on examine la contrée, il paraît impossible d'y rien trouver qui s'accorde avec l'existence de mines de houille.

Jusqu'à présent, on n'a véritablement reconnu le terrain houiller que dans les Basses-Pyrénées.

Sa présence y fut constatée, en 1868, par la Société géologique de France, dans une de ses réunions extraordinaires annuelles.

Les membres de cette Société voulaient atteindre la Rhune dont les formes imposantes se voient de Bayonne, à l'horizon. Après avoir gravi la Petite-Rhune, ils virent, sur le flanc méridional, des tentatives d'exploitation faites sur un gisement d'anthracite. L'examen des lieux fit découvrir la présence de végétaux houillers, tels que des *pécoptéris*, des

1. *Art d'exploiter les mines.*

sigillaria, des *calamites*, qui ne laissaient aucun doute sur la présence incontestable, en ce lieu, du terrain houiller, et faisaient classer le combustible exploité parmi les houilles anthraciteuses.

Dans cette même localité, l'exploitation actuelle (1873) est ouverte dans la montagne d'Ibautelly, sur une couche d'anthracite ayant 5 à 6 mètres de puissance.

Enfin, quel que puisse être l'avenir de ces travaux nouveaux, on ne peut nier que la découverte du terrain houiller dans cette partie des Pyrénées n'ouvre un nouvel horizon pour les recherches de l'avenir.

HOUILLES TRIASIQUES. — On les exploite particulièrement dans la Haute-Saône, à *Gémonval*, *Gouhenans*, et dans les Vosges, à *Norroy*, etc.

On y connaît, dans un même horizon triasique, une couche presque horizontale, de 0,60 à 0,70 de puissance, concordant avec des calcaires dolomitiques et gypseux. Le combustible qu'on en extrait a toute l'apparence de la houille, mais il est généralement accompagné d'une assez grande quantité de pyrites de fer en nodules ou en fragments plus ou moins volumineux.

Cette couche, qui possède une très-grande étendue, n'a jamais donné lieu qu'à des extractions assez limitées.

LIGNITES. — La plupart des gisements connus se trouvent dans le sud et le sud-est de la France, et dans l'Est, si nous y comprenons les combustibles du trias que nous avons désignés sous le nom de *houilles triasiques*.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, ceux que l'on connaît en France appartiennent à plusieurs étages géologiques. Ils occupent, à plusieurs niveaux, des espaces plus ou moins étendus correspondant à certaines couches du trias, du terrain jurassique, du terrain crétacé, ou à divers étages du terrain tertiaire.

Ils présentent dans leurs gisements des aspects très-variés, depuis l'apparence ligneuse et la forme de bois enfouis sous le sol, jusqu'à celle du charbon minéral proprement dit, noir et pierreux, souvent à cassure conchoïdale et ressemblant à la houille.

Jusqu'à présent les lignites n'avaient donné lieu à des extractions importantes que dans quelques endroits, comme à Fuveau dans les Bouches-du-Rhône, ou dans le bassin de Vaucluse et dans le Gard, etc.; mais aujourd'hui (1873) ils sont plus activement recherchés et des travaux sont entrepris sur plusieurs points pour en développer l'exploitation.

Le tableau suivant nous donnera une idée de la situation géographique de ces gisements et de leur importance relative jusqu'à ce jour:

Production :

	1835.	1869.	1872.
Ain	»	697	»
Aisne	1,360t	»	»
Basses-Alpes	821	9,921t	2,211
Ardèche	734	955	»
Aude	223	973	700
Aveyron (Jurassique)	»	3,901	»
Bouches-du-Rhône	49,069	242,402	300,000?
Charente-Inférieure	2,800	»	»
Dordogne	»	828	»
Drôme	»	1,182	1,626
Gard	7,932	20,569	25,000
Hérault	3,177	3,167	4,160
Isère	9,245	3,882	»
Landes	»	»	»
Lozère	»	»	»
Oise	888	»	»
Hautes-Pyrénées	»	4,000	»
Var	1,455	2,900	»
Vaucluse	5,739	4,740	4,653
Haute-Savoie	»	4,022	»
Houilles triasiques. Vosges	1,377	4,740	»
Haute-Saône	»	12,243	»

soit un total de :

	1835.	1869[1].
Tonnes	84,820	321,128
Valeur	1,034,971f	3,297,214f

Si maintenant nous jetons un coup d'œil général sur quelques-uns des gisements de la France, nous voyons :

Savoie.

En *Savoie*, un combustible dont nous avons déjà parlé correspondant aux assises kimmeridgiennes, au *Château-d'Oche*, etc.

Auprès d'*Annecy*, le charbon d'Entrevernes dont la découverte, faite en 1794, produisit en France une grande sensation, appartient à la formation éocène (nummulitique) et présente une couche de 0,15 à 0,70 et 2 mètres de puissance, qu'on retrouve encore à *Samoens*, *Saint-Cergues*, etc.

Dans le bassin de *Chambéry*, on a travaillé quelques dépôts de lignite récent, à *Sonnaz*, *La Motte-Servolex*, etc. Ces gisements ont été exploités avec plus ou moins d'activité depuis 1783.

1. Nous avons déduit le Bas-Rhin.

Ces lignites ressemblent beaucoup à ceux de la *Tour-du-Pin* dans l'Isère, mais ils en diffèrent essentiellement par leur position géologique. Ils constituent deux couches d'une puissance moyenne ensemble de 3 mètres[1], situées dans les terrains tertiaires supérieurs et séparées par un banc d'argile de $0^m,30$. Ils contiennent 23 de carbone, 45 de matières volatiles, 17 de cendres et 11 d'eau pour 100.

On trouve encore en Savoie du lignite Jayet, dans les molasses d'eau douce ou marine, aux contamines, etc., pareil à celui du canton de Vaud, mais il n'y constitue que des dépôts trop minces pour être utilement recherchés.

Isère.

Le lignite est exploité à la Tour-du-Pin et à Hauterives, où il forme plusieurs couches présentant l'aspect de bois fossiles agglomérés, celui d'une tourbe comprimée, de jayet noir compacte, ou de charbon analogue au fusain (miocène).

A Hauterives, la puissance de la principale couche atteint $1^m,30$ à $1^m,40$.

Ces gisements paraissent avoir une grande étendue et ils se retrouvent avec les mêmes caractères dans une grande partie du bas Dauphiné[2].

Auprès de *Voreppe*, à Pommiers, se trouvent, au milieu de poudingues de la mollasse, plusieurs couches de lignite ayant ensemble environ $1^m,20$ de puissance, et séparées par deux bancs de marnes sableuses.

Le lignite qu'on en extrait a environ 15 pour 100 de cendres; c'est une variété de jayet qui brûle facilement. Ces couches paraissent étendues.

Les divers gisements de cette partie de la France ont été définis de la manière suivante par M. Lory :

Indices inexploitables de lignite dans le terrain nummulitique de Dévoluy :

Gîtes étendus, mais d'une exploitation difficile, dans le groupe des sables bigarrés et argiles plastiques ;

Gîtes un peu importants dans la mollasse d'eau douce, correspondant aux lignites de Manosque (Basses-Alpes) ;

Lignite jayet de Pommiers, dans les poudingues de la mollasse;

Lignites terreux et bois fossiles de la Tour-du-Pin, d'Hauterives, etc., dans la partie supérieure des mêmes poudingues.

Gard. — Ardèche.

Dans le Gard, on connaît plusieurs dépôts de lignites exploités depuis longtemps, et situés dans des conditions géologiques différentes.

1. Mortillet.
2. Voir Lory. *Géologie du Dauphiné.*

Le premier de ces dépôts s'étend sur une longueur de plus de 30 kilomètres, depuis *Vallon* dans l'Ardèche jusqu'à *Ribaute* aux environs d'*Anduze*, et suivant la direction N. E.-S. O., en passant par *Vagnas* (Ardèche), *Barjac*, *Avejean*, *Ceylas*, etc.

A Barjac, la couche de lignite a 2 mètres de puissance; le charbon y est noir et luisant. Il renferme 47 pour 100 de carbone, 55 de matières volatiles et 6 à 7 pour 100 de cendres. Les mines de Barjac fournissaient environ 2 à 3,000 tonnes de lignite par an.

Des travaux importants de recherche y sont aujourd'hui (1873) en cours d'exécution près de Saint-Sauveur.

Les mines de Ceylas, à proximité d'Alais, envoient aujourd'hui leurs produits jusqu'à Marseille.

Les charbons extraits dans l'Ardèche, à Vagnas, sont utilisés en partie pour la chaux du pays et en partie pour alimenter une usine d'huiles de schistes.

Les autres dépôts du Gard se trouvent dans l'arrondissement d'Uzès. Ils appartiennent au grès vert et reposent sur les calcaires néocomiens qui forment la chaîne de montagnes séparant ce dernier arrondissement de celui d'Alais.

On y connaît trois bassins principaux :

Celui de *Montaran*, circonscrit de toutes parts, sur la route d'Uzès à Alais, d'environ 1,000 hectares de surface;

Un second bassin, ayant son centre auprès de *Bagnols*, paraît s'étendre depuis les environs d'Uzès jusqu'aux bords du Rhône. Des travaux importants ont été entrepris à Saint-Victor-Lacoste, et les lignites paraissent déjà sur le marché d'Avignon;

Enfin un troisième bassin, situé au nord du pont Saint-Esprit, à *Saint-Paulet*, exploité depuis un grand nombre d'années. Les exploitations de Saint-Paulet et de Saint-Julien ont été jusqu'à présent (1873) les plus importantes du département.

La richesse de ces bassins peut être représentée par une puissance de 4 mètres de lignite contenant 48 à 49 pour 100 de matières volatiles, 51 à 52 pour 100 de carbone et de cendres renfermant, suivant les couches, 38 à 40 pour 100 de carbone et 10 à 14 pour 100 de cendres.

Les chemins de fer aujourd'hui projetés donneront à ces mines une grande activité.

Ain.

Plusieurs gisements de lignites présentant souvent l'aspect de bois accumulés; à Priay et Varambon, une couche de 0,80 à 1^{m},50, alternant avec des argiles sises dans un terrain d'eau douce supérieur à la mollasse marine, qui a donné lieu à quelques tentatives d'exploitations.

Vaucluse.

On y exploite depuis longtemps plusieurs dépôts de lignite situés dans les arrondissements d'Orange et de Carpentras:

Les premiers, connus à *Mondragon*, *Piolenc*, etc., appartiennent au terrain crétacé et paraissent correspondre aux dépôts de l'arrondissement d'Uzès dans le Gard;

Les seconds sont ceux de *Méthamis*, de *Barroux*, de *Saint-Martin-de-Castillon*, appartenant au terrain tertiaire d'eau douce.

A Mondragon on connaît deux couches, l'une dite la *Grande-Mine* de 1m,25 d'épaisseur exploitée jusqu'ici irrégulièrement, épuisée au-dessus du niveau des vallées, l'autre dite la *Bonne-Mine* de 0m,75 de puissance. On en extrait un charbon qui a donné à l'analyse 36 de carbone, 48 de matières volatiles et 15 pour 100 de cendres. Il contient un peu de soufre et son pouvoir calorique est de 56,6[1].

Les mines de Piolenc sont les plus anciennement connues. Leur découverte paraît remonter au dix-septième siècle; elles furent concédées en l'an IX (1803).

On y exploitait deux couches, séparées par un banc de grès de 5 à 6 mètres, et ayant ensemble une puissance d'environ 2 mètres de bon charbon.

Les traces et les déblais des anciens travaux se montrent sur les flancs des collines de Boucquayran et de Saint-Fons.

Les travaux anciens très-developpés réduisent aujourd'hui les champs d'exploitation, mais il est probable que les couches s'étendent sous la plaine et qu'elles y offriront de grandes ressources si l'épuisement des eaux ne présente pas trop de difficultés à surmonter.

L'analyse a donné :

	Boucquayran.	Saint-Fons.
Matières volatiles	51,1	52,3
Carbone	26,6	41,5
Cendres	22,3	6,2
Pouvoir calorifique	54,6	56;9

Les autres mines tertiaires sont aussi exploitées depuis longtemps.

A *Barroux*, on connaît une couche de 0,60, divisée en plusieurs veines par des lits de marne.

Les mines de *Méthamis* possèdent trois couches, ayant ensemble près de 3 mètres d'épaisseur, d'un charbon d'excellente qualité, noir terne. léger et prenant un aspect terreux après avoir été exposé à l'air. Il ren-

1. *Description géologique du Vaucluse*, par Scipion Gras, 1862.

ferme 50 de matières volatiles, 40 de charbon et 9 pour 100 de cendres. Son pouvoir calorifique est de 56. On y travaille activement en 1873.

La mine de *Castillon*, découverte vers 1830, contient deux couches de lignite intercalées dans les parties les plus élevées des calcaires tertiaires qui ne sont aujourd'hui l'objet que de travaux restreints.

Basses-Alpes.

Le lignite est exploité depuis longtemps dans l'arrondissement de Forcalquier, et particulièrement aux environs de Manosque.

On y travaille plusieurs couches d'une épaisseur variant ensemble de 1 à 8 mètres, et situées dans la mollasse d'eau douce inférieure à la mollasse marine; elles appartiennent au grand bassin tertiaire de Manosque, Apt et Carpentras.

On en tire des charbons propres à la forge, au chauffage domestique, etc.

Var.

On y connaît divers étages de lignites qui ont donné lieu, jusqu'à présent, à des exploitations plus ou moins prolongées.

Des indices de ce combustible se montrent, d'une manière irrégulière, dans le keuper, sous *Bargemont* et *Saillant*[1].

Dans le terrain jurassique, il constitue une couche de plus d'un mètre de puissance, dans le quartier de *Vescagne*, à *Cassel*, aux environs de *Grasse*, etc., dont nous ignorons l'importance[2].

Dans les grès verts, sous forme d'indices, aux environs du Beausset;

Dans la craie supérieure, à la *Cadière*, à *Mazangues*, à *Saint-Julien*, aux environs de *Brignolles*, au plan d'*Aups*, etc.

A la *Cadière*, on a exploité pendant longtemps, et à plusieurs reprises, deux couches de charbon noir, à apparence de jayet et reposant sur les calcaires à hippurites.

Des lignites miocènes existent encore aux environs de *Barjols*.

Enfin, à la partie inférieure du terrain tertiaire, ou à la partie supérieure du terrain crétacé, se trouve le terrain d'eau douce renfermant les mines de *Saint-Zaccharie*, *Ollières*, *Saint-Maximin*, *Peirui*, qui appartiennent au même niveau géologique que les mines de Fuveau des Bouches-du-Rhône.

La formation lignitifère de Saint-Zaccharie se cache à l'ouest sous les dépôts tertiaires qui se prolongent de la vallée de l'Huveaune jusqu'à Marseille. On y a reconnu 7 couches, dont la puissance varie de 0m,50 à 2m,50, dans un terrain généralement très-bouleversé.

1. *Description géologique du Var*, par de Villeneuve.
2. *Ibid*

Des lignites de ces divers gisements ont été reconnus ou explorés dans une foule d'endroits : tels que *Nans*, *plan d'Aups*, *Saillant*, *Saint-Maximin*, *Salernes*, *Roques-Esclapons*, environs de *Toulon*, *Ollioules*, etc. Des explorations nombreuses ont été faites en ces lieux et des travaux étendus ont été exécutés à Saint-Zaccharie; mais pendant longtemps l'irrégularité des gîtes, ou les difficultés de l'exploitation, n'ont pas permis qu'on en tirât un parti avantageux.

Bouches-du-Rhône.

C'est dans cette contrée que se trouvent les mines de lignite de *Fuveau*, les plus importantes des mines de cette nature en France et exploitées même dans les siècles derniers. En 1869, on y comptait vingt concessions occupant une surface de plus de 27,000 hectares.

On y a reconnu depuis longtemps 8 couches exploitables, ayant ensemble une puissance de 5 à 6 mètres. Le lignite qu'on en extrait a toute l'apparence de la houille. De grands travaux sont exécutés dans ces contrées, et l'extraction, qui s'élevait à peine à 50,000 tonnes il y a quarante ans, s'élève aujourd'hui (1873) à plus de 300,000 qui sont consommées dans les usines de Marseille, de Toulon, etc.

Hérault.

Les principales exploitations de lignite s'y trouvent dans l'arrondissement de Saint-Pons et dans les concessions d'*Azillanet*, *Minerve*, la *Caunette*, *Agel*, etc., dont l'extraction était d'environ 4,000 tonnes par an.

Elles appartiennent au terrain tertiaire, de même que celles de l'arrondissement de Montpellier, à *Lamotte*, *Oupia*, *Cesseras*, *Saint-Paul*, *Valmalle*, *Saint-Gily-du-Fesc*, *Montalieu*, etc.

Des gîtes de lignite existent encore en un grand nombre de départements où ils ne donnent lieu, en ce moment, qu'à des extractions faibles ou nulles, soit à cause du peu d'importance des gîtes, de la mauvaise qualité du combustible, ou de leur éloignement des principales voies de communication.

Tels sont les lignites pyritifères du Soissonnais, ceux des Landes, de la Charente-Inférieure, la Lozère, etc.

Les extractions les plus importantes sont celles des lignites des Bouches-du-Rhône, du Gard et de Vaucluse.

Tourbières.

Les tourbes sont répandues dans un grand nombre de départements dont les noms suivent :

Ain, *Aisne*, *Ardennes*, *Aube*, *Alpes* (*Basses-*), *Alpes* (*Hautes-*), *Ariége*,

Bauches-du-Rhône, Calvados, Cantal, Charente, Charente-Inférieure, Cher, Côte-d'Or, Deux-Sèvres, Doubs, Dordogne, Drôme, Eure, Eure-et-Loir, Finistère, Garonne (Haute), Gironde, Ille-et-Vilaine, Indre, Indre-et-Loire, Isère, Jura, Landes, Loir-et-Cher, Loire-Inférieure, Loiret, Marne, Manche, Mayenne, Meurthe, Meuse, Morbihan, Nord, Oise, Orne, Pas-de-Calais, Puy-de-Dôme, Pyrénées (Basses-), Pyrénées (Hautes-), Rhône, Saône (Haute-), Saône-et-Loire, Sarthe, Savoie, Savoie (Haute-), Seine-Inférieure, Seine-et-Marne, Seine-et-Oise, Sèvres (Deux-), Somme, Var, Vienne, Vosges, Yonne.

Les gisements les plus importants sont ceux de la Somme dont la puissance moyenne est de 8 à 10 mètres.

Dans Seine-et-Oise, les marais de l'Essonne et de la Juine ; à l'Est les vastes marais des Vosges, du Jura et du Doubs ; dans la Loire-Inférieure les marais de Montoire et du Cadre; dans le Rhône, le marais des Échelles ; dans l'Isère, les marais de Bourgoing et de Vizille; dans les Bouches-du-Rhône, les marais de Fos entre Istres et les martigues [1].

La production de la tourbe n'a pas sensiblement varié depuis quarante ans, malgré les efforts nombreux tentés pour étendre son emploi.

C'est ce qui résulte des chiffres suivants :

Production de la tourbe:

	1835.	1869.
Tonnes.	448,728	328,764
Valeur.	3,522,091f	3,352,749f

On y distingue plusieurs qualités de tourbe qui sont d'autant meilleures qu'elles présentent moins de traces des végétaux dont elles ont été formées.

A l'état brut, la tourbe est généralement impropre à un grand nombre d'usages et même à de longs transports, et on a fait bien des efforts pour en changer la nature. Sans parler de nombreux détails qu'on trouvera dans le traité de M. Bosc, nous dirons qu'on a tenté [2] :

1° D'enlever à la tourbe autant d'eau que possible, sans perte notable sur les gaz combustibles qu'elle renferme ;

1. *Traité de la tourbe* par Bosc, 1870.

D'après M Bosc, on peut évaluer à 1,200,000 hectares l'étendue tourbière de la France, comprenant :

Tourbe des marais.	600,000	hectares.
Tourbe des plaines.	400,000	
Tourbe des montagnes.	200,000	

Elles sont répandues dans plus de cinquante départements et forment plus de 5000 tourbières dont 1500 à peine sont en activité ou l'ont été.

2. *Notice sur la préparation de la tourbe*, par Thormann. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, t. IV. Challeton, *De la tourbe*.

2° D'augmenter sa densité;

3° D'en faire une masse compacte se prêtant aux transports sans déchets trop considérables, et douée des qualités physiques nécessaires pour une combustion facile et complète;

4° Réduire autant que possible la teneur en cendres, en éliminant les matières étrangères.

Après bien des expériences, on est parvenu à produire un charbon de tourbe carbonisée offrant presque toutes les qualités du coke, et, on est parvenu à utiliser la tourbe pour le chauffage domestique, le chauffage des locomotives, les générateurs à gaz et même dans quelques hauts-fourneaux.

Dans une grande exploitation des environs de Munich (Haspelmoor), on a obtenu, avec 100 kilos de tourbe séchée et comprimée :

14^{mc},04 de gaz d'éclairage épuré;
43^{k},40 d'excellent charbon de tourbe;
6^{k},7 de goudron;
24 à 25 kilos d'eau ammoniacale.

Le goudron de tourbe fournit la plupart des produits que donne le goudron de houille; les cendres qu'on en obtient peuvent encore être avantageusement utilisées comme engrais.

Ces résultats, quoique remontant à plus de dix ans, suffisent pour montrer l'intérêt qui s'attache à l'étude des tourbières, et cet intérêt prend encore une plus grande importance aujourd'hui, en raison de l'accroissement constant des besoins, de la consommation de combustible, de l'élévation des prix de la houille et surtout des fours nouveaux où on pourra vraisemblablement utiliser la tourbe mieux que jamais.

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, il y a en France beaucoup de tourbières qui ne sont pas travaillées, mais déjà, depuis 1871, on a cherché à mettre en valeur les vastes dépôts tourbeux de la vallée de la Seine, au Marais-Vernier, près de Quillebœuf et beaucoup d'autres encore.

Enfin, quand on cherche à se figurer ce que deviendraient la France et l'Europe, si, à une époque qui n'est pas bien éloignée, trois ou quatre siècles peut-être, les houillères ayant cessé de produire, le génie de l'homme n'avait encore rien trouvé pour compenser l'absence du précieux combustible; quand on pense aux fourneaux éteints, aux usines sans aliment, aux villes sans éclairage, en un mot quand on réfléchit à l'abaissement de la civilisation qui en résulterait, on comprend toute l'importance des études qui se rattachent à l'utilisation de la tourbe et à sa reproduction, comme à tout ce qui peut éloigner cette époque inévitable.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL.

Nous voici parvenu au terme du travail que nous nous étions proposé. Nous ne nous dissimulons ni ses lacunes ni ses imperfections, mais nous espérons avoir fourni assez de détails pour donner une idée générale de l'ensemble des gisements minéraux utiles de la France et de leur importance, et surtout pour diriger l'explorateur qui suppléera par l'observation à ce qui pourra manquer dans ce livre.

Si nous résumons rapidement ce que nous avons dit, nous voyons que les mines métalliques proprement dites, celles qui furent le plus longtemps délaissées et que nous avons plus particulièrement étudiées, nous ont montré leurs traces dans tous les groupes montagneux de la France; nous avons pu reconnaître, malgré leur nombre qui est considérable, que presque toutes celles que nous connaissons ont été travaillées à diverses époques et ont dû présenter de remarquables périodes d'activité. Nous avons constaté les découvertes récentes de dépôts abondants de cuivre dans l'Allier, de riches colonnes argentifères en Auvergne, d'amas remarquables de calamine dans le Gard ou de manganèse dans les Pyrénées, et un enrichissement considérable, dans la profondeur, des pyrites de Sainbel que l'on considérait comme épuisées il y a vingt ans à peine.

Tous ces faits nous montrent, à l'évidence, que les montagnes de notre pays sont aussi aptes à renfermer des substances utiles que les montagnes étrangères dans les lieux où les mines sont le plus exploitées.

Nous pouvons en déduire aussi que les anciens n'ont pas tout reconnu; que l'on peut trouver encore d'abondantes mines intactes au dehors et au milieu même de leurs propres travaux et que, plus on travaillera le sous sol national, plus on y fera de découvertes utiles comme cela est arrivé même de notre temps, dans tous les pays miniers.

De l'histoire générale des mines nous pouvons conclure encore, et sans risque d'être contredit, que les mines le plus travaillées anciennement représentent sans doute le travail de plusieurs siècles accumulé sur les mêmes points, mais cette histoire nous montre en même temps que les lieux où les déblais et les excavations anciennes sont les plus

développés appartiennent à des contrées essentiellement métallifères, plus susceptibles de production que beaucoup d'autres, et que généralement la France peut être considérée, à ce point de vue, comme ayant été seulement attaquée près de la surface, comme intacte et inexplorée à peu de profondeur et renfermant encore de grandes richesses au-dessous du niveau inférieur des anciens travaux.

Nous avons essayé de montrer les différences qui existent entre le travail ancien et le travail moderne, et nous croyons avoir prouvé, comme le prouvent surabondamment les faits qui se passent actuellement sous nos yeux, que les mines travaillées anciennement peuvent l'être encore avantageusement aujourd'hui.

Il est donc raisonnable de penser que l'industrie actuelle, puissamment outillée et profitant de l'accroissement progressif des voies de communication si impérieusement nécessaires à ce genre de travail, pourra trouver facilement sur le sol national les bases d'entreprises fécondes, utiles au pays et capables de produire une grande partie des métaux que la France achète aujourd'hui à l'étranger.

Or. — La tradition rappelle la présence de l'or en beaucoup de points, et les Gaules étaient autrefois célèbres par la production de ce métal. Tout porte à croire que non-seulement on l'extrayait du sable des rivières, ou de quelques vallées, mais encore des roches elles-mêmes, comme dans le Limousin. Nous ne savons rien de ce qui concerne ces anciens travaux dont nous voyons les vestiges. Mais ces vestiges que nous avons indiqués, dans les Alpes, dans le centre de la France, ou dans les Pyrénées, montrent qu'il ne manque pas à faire de recherches pouvant être utiles.

Argent, plomb argentifère. — L'argent, à part quelques mines peu nombreuses paraissant offrir encore bien des ressources, est généralement associé aux minerais de cuivre et de plomb, quelquefois avec le zinc et l'antimoine. On le rencontre avec le plomb dans de puissants faisceaux métallifères traversant de grands espaces montagneux, sous forme de filons ou de filons-couches, dans les Vosges, en Bretagne, dans les Alpes, dans le centre de la France et dans les Pyrénées. Le nombre de ces filons est considérable et il n'est pas possible d'admettre qu'il ne puisse exister, au milieu de tous ces gisements, que trois ou quatre d'entre eux qui soient susceptibles d'une exploitation utile, ainsi que cela semblerait résulter de l'histoire des mines dans le siècle présent. Il semble donc que ces gisements divers puissent être l'objet de nombreuses recherches et de nombreux travaux. C'est, du reste, ce que démontrent encore les tendances actuelles.

Cuivre. — Les gisements de cuivre ou de cuivre argentifère se pré-

sentent spécialement dans le Beaujolais et l'Allier, dans les Alpes et les Vosges, dans l'Hérault, les Alpes-Maritimes, dans les Corbières et dans la montagne Noire, ainsi que dans certaines parties des Pyrénées. On les travaille activement sur quelques points, et l'examen que nous en avons fait prouve que beaucoup d'entre eux, aujourd'hui abandonnés, dont se rapprochent de plus en plus les voies ferrées, pourraient être avantageusement recherchés.

Étain. — Le minerai d'étain est connu dans la Bretagne et dans le Limousin. Il a été l'objet de travaux anciens, probablement gallo-romains, ouverts près de la surface sur un grand nombre de filons. Ignoré et délaissé pendant des siècles, il n'a été, dans les temps récents, l'objet de recherches, généralement peu profondes, que sur quelques points.

On ne connaît véritablement aujourd'hui pas beaucoup plus que la partie la plus superficielle de quelques gisements; il serait donc bien prématuré, dans l'état de nos connaissances actuelles, d'oser exprimer une opinion défavorable sur la valeur stannifère de nos nombreux filons, dont l'analogie avec ceux de l'Angleterre est très-grande, et de croire que la France doive toujours rester tributaire de l'étranger.

Zinc. — Ce métal se présente à l'état de blende dans un grand nombre de gisements plombeux. A cet état, il est le minerai dominant dans les environs de Vienne, de Grenoble et du nord de l'Ardèche; il abonde dans de nombreux gisements métallifères des Pyrénées et de l'Ouest. Il n'est connu à l'état de calamine qu'en peu d'endroits, et il est particulièrement signalé, à cet état, dans le Gard où il donne déjà lieu à une exploitation importante, dans l'Ardèche, dans la basse Normandie et dans la zone métallifère de l'ouest de la France.

Antimoine. —Il se montre particulièrement dans la Lozère, le Gard, la Haute-Loire, le Cantal et l'Ardèche. Des mines importantes de ce même métal argentifère ont été explorées dans les Corbières. Elles sont pour la plupart abandonnées.

Manganèse. — Il a été longtemps exploité dans l'ouest de la France. On le travaille encore dans le département de Saône-et-Loire. Il constitue des gisements puissants dans le Tarn ou dans l'Aude et dans les Pyrénées de remarquables amas qui ne sont pas tous connus.

Mercure. — Reconnu sur quelques points de la France, le mercure ne paraît avoir été exploité que dans la basse Normandie. Le gisement qu'on y connaît paraît mériter de nouvelles études. On ignore l'importance ou la valeur de ceux qu'on a indiqués ailleurs.

Cobalt et nickel. — La présence de ces deux métaux n'a été con-

statée qu'en un petit nombre de points. Le cobalt paraît surtout abondant aux mines d'argent des Vosges et de l'Isère. Il a été l'objet d'exploitations restreintes en quelques points des Pyrénées et dans la Dordogne. Le nickel se montre assez abondamment dans l'Isère, et sa présence est signalée en quelques points de la Savoie, dans les filons du Cantal et dans les Pyrénées. Aucune des mines qui le possèdent n'est travaillée aujourd'hui malgré leurs apparences favorables.

Pyrites de fer. — Elles constituent depuis longtemps l'objet d'importantes exploitations dans le Lyonnais et dans le Gard. Leurs gisements, dans le Lyonnais, exploités depuis une époque très-reculée pour le cuivre et peut-être pour l'or qu'elles renferment en petite quantité, ont montré une abondance remarquable au-dessous des anciens travaux qui fait croire que, dans cette partie de la France, les autres substances métallifères pourront suivre la même loi d'enrichissement.

On les trouve associées à la plupart des minerais.

Elles se montrent dans les Pyrénées, dans le Vivarais, dans le Cantal, dans le Puy-de-Dôme, sous forme de pyrites pures ou de pyrites arsénicales, avec plus ou moins de nickel, d'or ou d'argent, et on les exploite depuis longtemps dans le Gard.

Il est probable que bien des gisements travaillés pour fer jusque dans ces derniers temps renferment d'abondantes pyrites de fer dans leurs profondeurs.

L'extraction de l'or que renferment la plupart de ces pyrites est encore aujourd'hui à l'état de recherche ou d'essai; mais il y a lieu de croire que, dans bien des cas à l'aide des procédés nouveaux, on pourra parvenir à l'obtenir avec avantage.

Enfin, nous avons pu voir dans le centre de la France d'importants filons pyritifères dont l'étude et l'exploration, au point de vue de l'or, peuvent offrir un très-grand intérêt.

Bismuth. — Connu dans un très-petit nombre de points, il est aujourd'hui recherché dans la Corrèze. Il paraît se rattacher aux gisements stannifères. On en a signalé depuis longtemps la présence dans les Pyrénées.

Mines de fer. — Nous avons cherché à faire connaître, sinon tous les gisements de fer que la France possède, ce qui nous eût été impossible, au moins la majeure partie de ces gisements. En nous attachant à indiquer leur forme, leur importance, leur situation géographique ou la composition des minerais que renferment quelques-uns d'entre eux, nous en avons dit assez pour montrer les grandes ressources que le territoire national présente pour le présent et pour l'avenir, et pour guider l'observateur dans ses recherches scientifiques ou industrielles.

Nous avons vu des gisements en couches d'une importance considérable et nous avons retrouvé dans les Pyrénées, dans les Corbières, dans le Tarn et la montagne Noire de remarquables gisements possédant les qualités les plus recherchées actuellement.

La France est encore loin de donner ce qu'elle pourrait produire, et, comme pour les mines métalliques proprement dites, le travail de bien des gîtes, et des meilleurs, est entravé par l'imperfection ou l'insuffisance des voies de communication.

Combustibles. — Nous avons vu que les mines de combustible et surtout les mines de houille sont représentées en France par de nombreux bassins qui sont actuellement l'objet de travaux se développant chaque jour davantage, et dont quelques-uns n'ont acquis d'importance qu'à partir du moment où ils ont pu être reliés par un chemin de fer au réseau général. Elles occupent près de cent mille ouvriers, et l'art de l'exploitation y est poussé par les ingénieurs jusqu'aux limites les plus avancées.

Les bassins du Nord, de la Loire, de Saône-et-Loire, du Gard, de l'Allier et de l'Aveyron y sont aujourd'hui les plus importants, eu égard à leur production comme aux qualités de leurs houilles. Ils possèdent d'immenses réserves pour l'avenir et, parmi eux, le bassin du Nord est appelé sans doute, et dans un temps rapproché, à produire autant que produisait la France entière il y a peu d'années.

Nous trouvons en France toutes les qualités de houille, mais celles que l'on nomme anthraciteuses, ainsi que les anthracites inférieurs aux grès houillers, se montrent abondamment et plus particulièrement dans les Alpes et dans les contrées de l'ouest.

Quelques-uns de nos bassins sont circonscrits par des roches plus anciennes, et tout à faits limités, mais leur plus grand nombre, comme ceux de Saône-et-Loire, de l'Aveyron, de l'Hérault, du Gard, etc., disparaissent au dessous des terrains plus récents où ils cachent de grandes ressources houillères dont nous ignorons réellement l'étendue.

Si on ne voit dans leur ensemble qu'une série de dépôts, s'étant formés isolément, leurs limites ne seront vraisemblablement pas bien éloignées de celles que nous leurs connaissons, mais si on observe que leur étendue paraît devoir être en rapport avec leur épaisseur qui atteint quelquefois plus de deux mille mètres, et que plusieurs de ces bassins ne représentent que des portions de cette grande hauteur, il sera naturel de les considérer tous comme appartenant à une vaste formation démantelée.

Dans ce cas, des dépôts inconnus encore pourront se trouver sous un manteau de roches secondaires et les limites de nos bassins pourront être beaucoup plus éloignées que nous ne le supposons. Elles ne pourront être déterminées, même approximativement, qu'après une étude géolo-

gique des plus minutieuses, et surtout d'après l'étude des failles qu'on observe dans les terrains qui les entourent.

Quelle que soit la manière dont on veuille envisager cette grande question, on pourra toujours reconnaître que la plupart de ces bassins, dans l'intérieur même, ou au dehors des concessions accordées, offrent, pour l'avenir, des ressources considérables, et, en même temps offrent beaucoup de recherches à faire ainsi que de nombreux problèmes dont la solution touche de bien près aux intérêts les plus directs du pays.

Nous avons pu voir aussi que la France possède sur de grande étendues des houilles anthraciteuses de qualité inférieure, et en plus ou moins grande quantité, des lignites et des tourbes. Jusqu'ici l'emploi de ces combustibles divers a été limité, mais la possession de fours nouveaux, tels que les fours Siémens, permet d'entrevoir que bientôt ils pourront acquérir une plus grande importance et entrer pour une plus grande part dans le travail industriel.

Nous pouvons donc conclure de tout ce que nous avons dit qu'il y a beaucoup de choses à faire en France au point de vue des mines, quelle que soit leur nature, et qu'il est de l'intérêt du pays de développer au plus haut degré les voies de communication qui puissent donner la vie à une foule de mines ou de concessions aujourd'hui délaissées : Enfin, nous pouvons croire que grâce aux immenses progrès qui se réalisent tous les jours dans la chimie, dans la métallurgie ou dans les arts mécaniques, les mines métalliques pourront mieux que jamais être utilement exploitées et que toutes ensemble coopérant à accroître le travail au sein des populations, peuvent porter parmi ces dernières et à leur profit, comme au profit de l'État, la majeure partie des sommes que nous payons aujourd'hui au commerce étranger.

ANNEXE

PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX EN 1873 ET 1869[1].

BASSINS. — Houilles et Anthracites.	1873.	1869[2].
Nord et Pas-de-Calais	6,417,720t	4,336,183t
Hardinghem	32,488	
Loire	3,855,880	3,079,824
Roanne	10,000	
Alais (Ardèche, Gard)	1,688,639	1,348,618
Aubenas	8,246	
Commentry	1,101,897	949,056
Buxière-la-Grue	62,500	
Bert	41,678	
Creusot et Blanzy	833,322	1,037,844
La Chapelle-sous-Dun	30,387	
Forges	2,209	
Épinac	164,416	
Aubin	687,329	592,394
Rodez	14,574	
Milhau	5,627	
Ahun	356,426	175,062
Bourganeuf	5,086	
Graissessac	283,000	190,498
Ronjan	2,500	
Carmeaux	227,685	115,341
Saint-Éloy	214,174	313,812
Bourg-Lastic	2,938	
Brassac	192,147	
Langeac	5,525	
Ronchamp	205,607	225,519
Gouhenans	8,971	
Norroy	5,140	4,740
Decize	136,746	101,880
Sarthe et Mayenne	113,183	124,874
Saint-Pierre-Lacour	13,802	
Le Drac	86,500	88,636
Oisans	750	
Communay	91	
Savoie. Hautes-Alpes	21,992	15,724
Basse-Loire	70,136	98,121
Vouvant et Chantonay	53,302	48,064
Sainte-Foy-Largentière	37,890	30,546
Littry	13,188	14,486
Fréjus (Var)	8,450	6,550
Sincey	3,710	6,038

1. *Journal officiel*, 1er décembre 1874. — 2. Moselle déduite.

	1873.	1869.
Champagnac	1,592	1,191[t]
Corrèze et Dordogne	2,563	2,909
Lot	984	4,488
Basses-Pyrénées	100	0

Lignites.

	1873.	1869.
Aix (Bouches-du-Rhône)	349,100	212,402
Manosque (Basses-Alpes et Vaucluse)	51,774	9,921
Bagnols	18,694	20,569
Barjac	3,960	
Célas	3,500	
Trévezel	456	
La Cadière (Var)	6,500	2,900
Orange	3,116	4,740
Méthamis	1,077	
Aveyron		3,901
La Caunette (Aude, Hérault)	3,050	4,140
Montoulieu	1,300	
Orignac	1,600	1,000
Drôme	1,692	1,182
Douvres (Ain)	1,126	697
Vagnas (Ardèche)	193	955
La Tour du Pin	2,500	3,882
Haute-Savoie	4,353	1,022
Total général	17,485,785	13,215,709

PRODUCTION DES FONTES, FERS ET ACIERS[1].

	1873.	1869[2].
Fonte au combustible végétal	132,017[t]	104,592[t]
Fonte aux deux combustibles	58,527	65,440
Fonte au combustible minéral	1,176,427	854,546
Total	1,366,971	1,024,578
Fer au combustible végétal	19,627	32,343
Fer aux deux combustibles	23,694	21,726
Fer au combustible minéral	716,898	707,732
Total	760,219	761,801
Acier de forge	255	365
Acier puddlé	16,596	22,730
Acier Bessemer et Martin	135,105	68,012
Acier de cémentation	3,611	6,309
Total	155,567	97,416
Acier fondu	9,201	7,810

Les progrès de la fabrication de l'acier Bessemer, qui se manifestent déjà par les chiffres précédents, s'accentuent de plus en plus, et sa production dans le premier semestre de l'année 1874 s'élevait déjà au chiffre de 94,671 tonnes.

1. *Journal officiel*, 9 décembre 1874. — 2. Nous avons déduit la Moselle.

INDEX

Or.

Argent.

Plomb. — Plomb et Argent.

Plomb. — Plomb et Argent (*suite*).

Plomb. — Plomb et Argent (*suite*).

Cuivre. — Cuivre et Argent. — Plomb, Cuivre et Argent.

Cuivre. — Cuivre et Argent. — Plomb, Cuivre et Argent (*suite*).

Cuivre. — Cuivre et Argent. — Plomb, Cuivre et Argent (*suite*).

Étain et Wolfram.

Zinc. — Blende et Calamine.

Antimoine.

Manganèse.

Manganèse (*suite*).

Pyrites de fer. — Pyrites arsenicales. — Pyrites aurifères.

Mercure.

Cobalt et Nickel.

Bismuth.

Fer.

Paris. — Imp. Viéville et Capiomont, rue des Poitevins, 6.

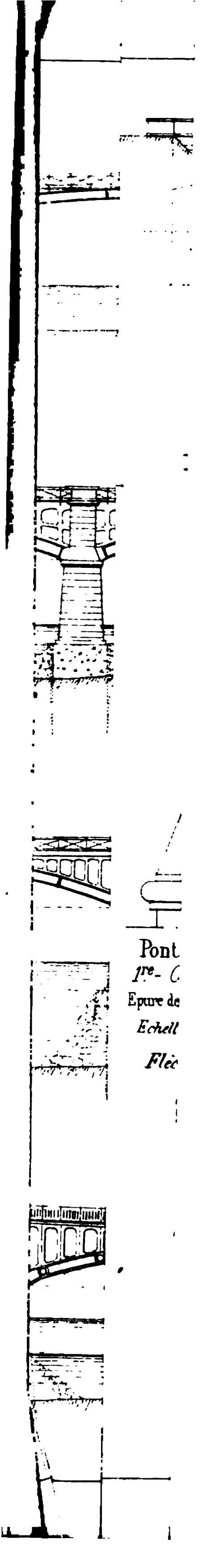
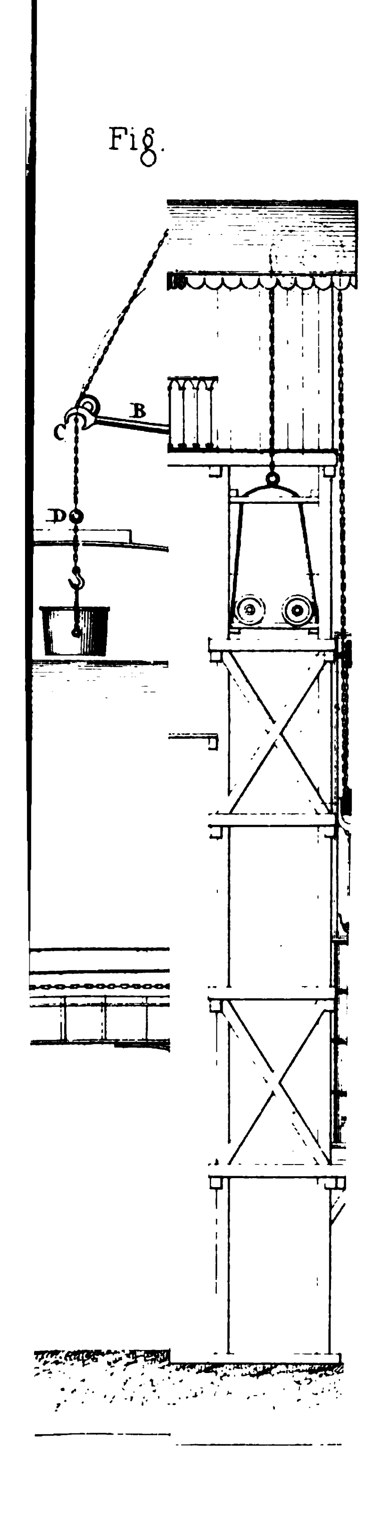

Pont
1re- C
Epure de
Echell
Flèc

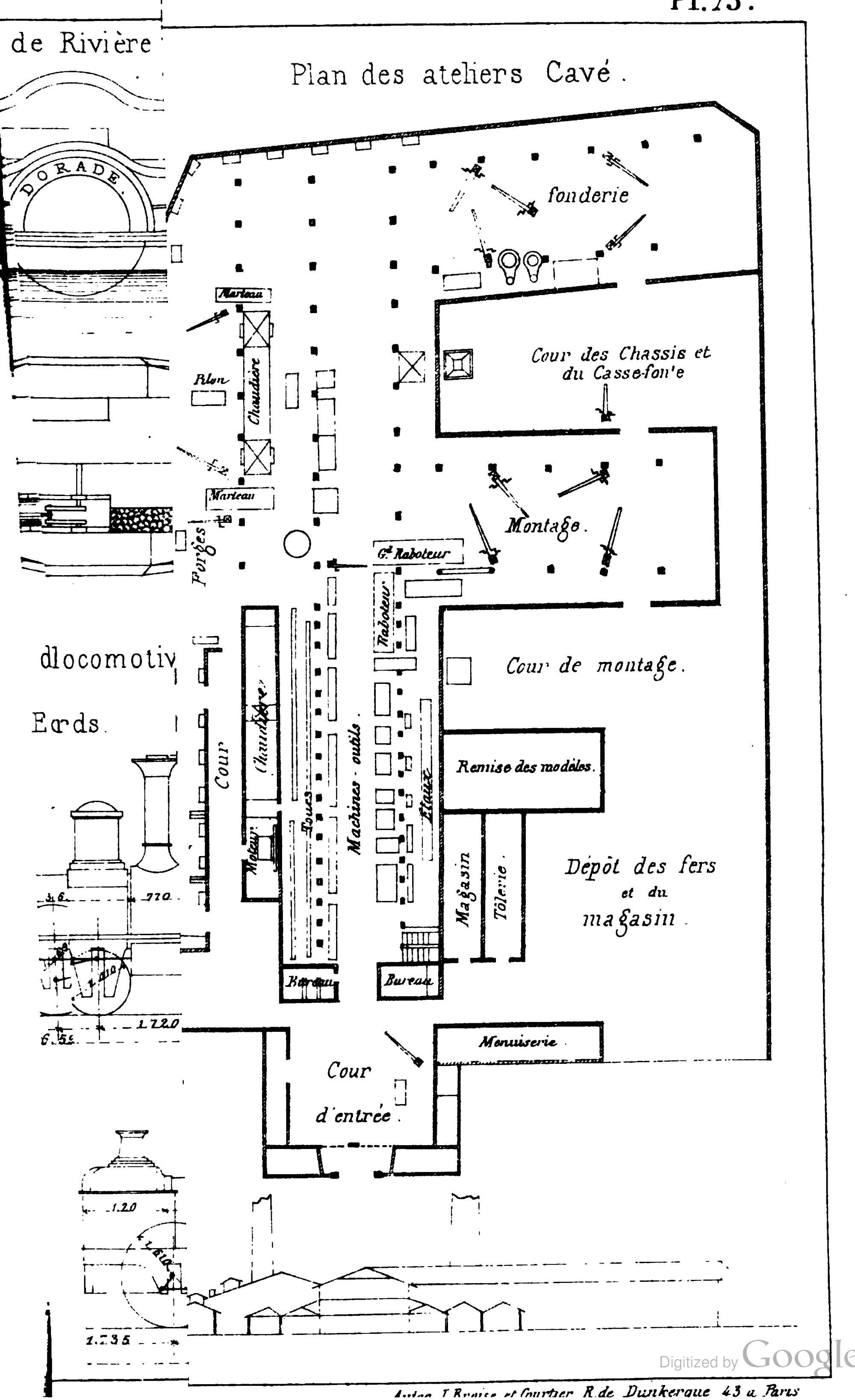
Fig 3

Fig 4

Fig. 6

Auto J. Broise et Courtier 43. R. de Dunkerque, Paris.


Fig. 8.
B
C
D


de Rivière
Plan des ateliers Cavé.
DORADE
fonderie
Marteau
Pilon
Chaudière
Cour des Chassis et du Casse-fon'e
Marteau
Montage.
Forges
Gd Raboteur
Raboteur
dlocomotiv
Cour de montage.
Eords.
Cour
Chaudière
Remise des modèles.
Machines-outils
Tours
Etaux
Moteur
Magasin
Tôlerie
Dépôt des fers et du magasin.
Bureau
Bureau
Menuiserie
Cour
d'entrée.
770
1.720
1.20
1.235

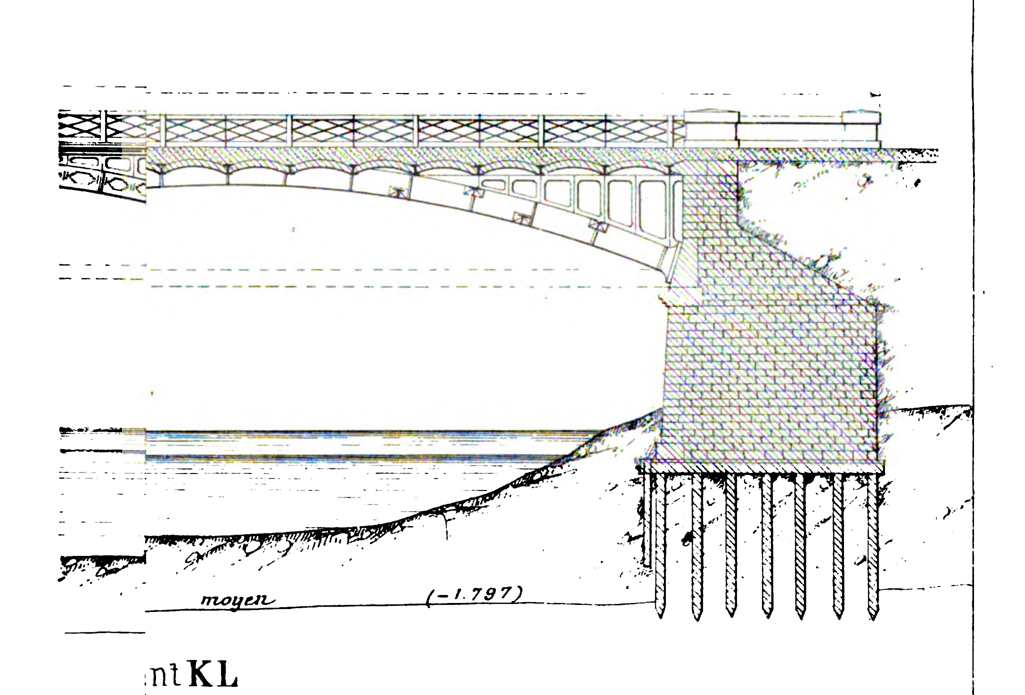


Fig. 3) Détails des assemblages.

VIII. Coupe suivant **IJ**.

0.25

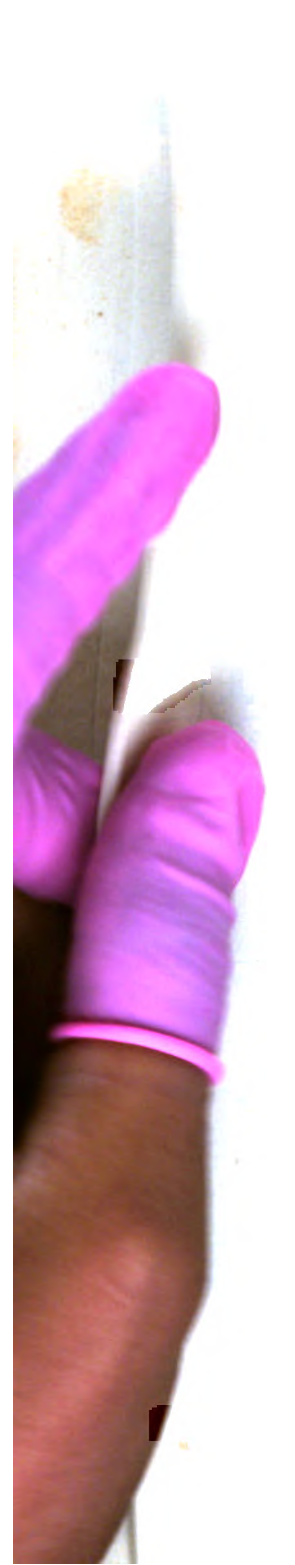
M **N**

(7.44)

XI. Plan supérieur

0.125

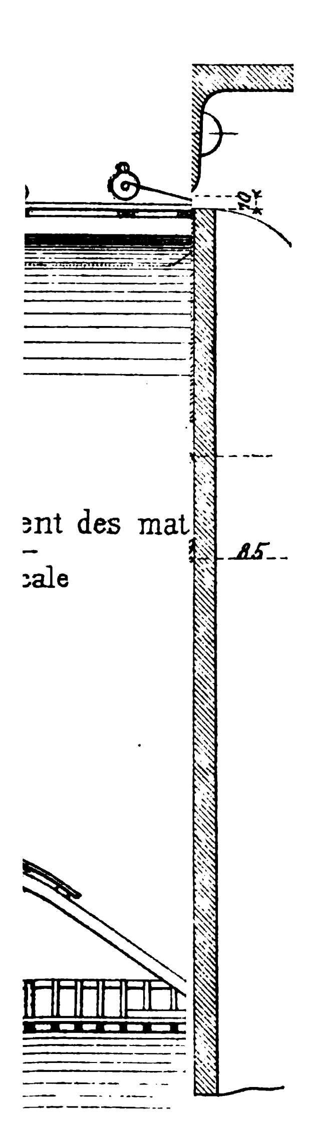
Q **R**



SCOP

En

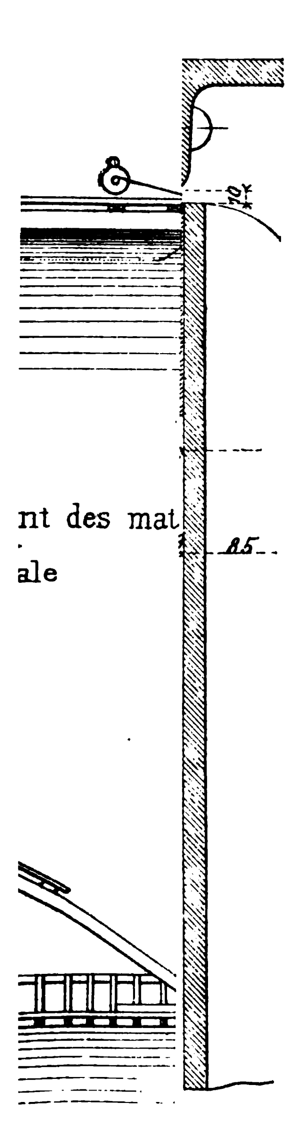
d'un Ga



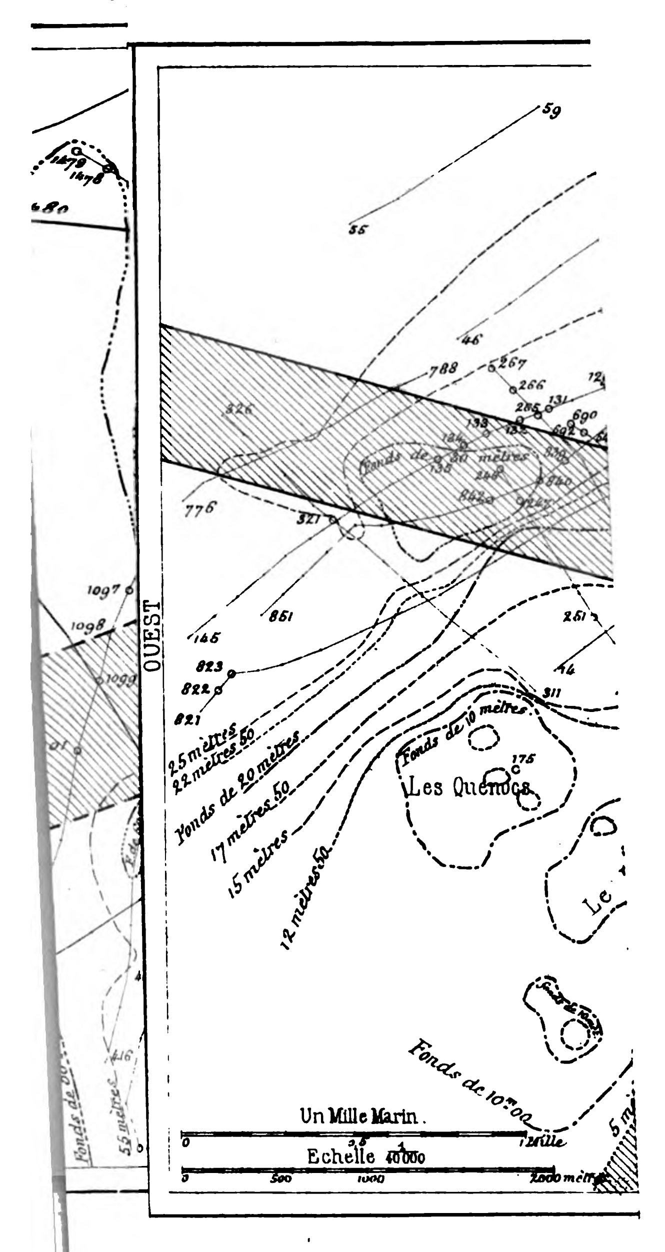
SCOP

En

d'un Ga



S


OUEST
Fonds de 30 mètres
25 mètres
22 mètres 50
Fonds de 20 mètres
17 mètres 50
15 mètres
12 mètres 50
Fonds de 10 mètres
Les Quenocs
Fonds de 10m00
Un Mille Marin.
Echelle 1/40000
2000 mètres

Nodules nombreux.

30 Ligne se détachant en noir sur la falaise.

7.50 Craie bleuâtre plus dure que celle ci-dessus.

Rouen

VII

Nodules nombreux.

Ligne se détachant en noir sur la falaise.

30

7.50

Craie bleuâtre plus dure que celle ci-dessus.

Rouen

VII

